

Estudio de implantación de un sistema de trigeneración en un centro deportivo.



Implementation study of a trigeneration system in a sports center.

INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS
SEPTIEMBRE| 2021

AUTOR: ADRIÁN CALLE PELÁEZ
DIRECTOR: JUAN CARCEDO HAYA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ALCANCE Y OBJETIVOS	3
3. NORMATIVA DE APLICACIÓN.....	5
4. ESTADO DEL ARTE	9
4.1. COGENERACIÓN CON TURBINA DE GAS.....	14
4.2. COGENERACIÓN CON TURBINA DE VAPOR	17
4.3. COGENERACION CON CICLO COMBINADO	19
4.4. COGENERACIÓN CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	20
4.5. TRIGENERACIÓN	22
5. DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DEPORTIVO	31
6. POSIBLES METODOLOGÍAS DE TRIGENERACIÓN.....	34
7. ESTUDIO DE LA SOLUCIÓN.....	39
8. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS ELÉCTRICAS Y TÉRMICAS.....	41
9. SITUACIÓN CONVENCIONAL DEL CENTRO DEPORTIVO	58
10. SITUACIÓN DE TRIGENERACIÓN.....	62
11. ESTUDIO DE VIABILIDAD	67
12. CONCLUSIÓN.....	72
13. BIBLIOGRAFÍA.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 4.1: Consumo de energía primaria (Fuente: www.elpais.es)
- Figura 4.2: Transporte de la energía eléctrica (Fuente: www.areatecnologia.com)
- Figura 4.3: Caldera de condensación (Fuente: www.gasnature.com)
- Figura 4.4: Esquema del ciclo Brayton (Fuente: www.laplace.us.es)
- Figura 4.5: Grafica Real del Ciclo Brayton (Fuente: www.wikipedia.es)
- Figura 4.6: Sistema de cogeneración mediante ciclo Brayton (Fuente: www.cogeneracionbrasil)
- Figura 4.7: Ciclo Brayton con regeneración (Fuente: Opexenergy.com)
- Figura 4.8: Diagrama de Ciclo Brayton con regeneración (Fuente: www.opexenergy.com)
- Figura 4.9: Ciclo Rankine (Fuente: www.slideplayer.com)
- Figura 4.10: Diagrama ciclo Rankine (Fuente: www.slideplayer.com)
- Figura 4.11: Ciclo Rankine con recalentamiento con 2 turbinas (Fuente: www.slideshare.net)
- Figura 4.12: Diagrama del Ciclo Rankine con recalentamiento (Fuente: www.slideshare.net)
- Figura 4.13: Ciclo combinado Brayton Rankine (Fuente: www.sllideshare.net)
- Figura 4.14: Diagrama del ciclo combinado (Fuente: www.sllideshare.net)
- Figura 4.15: Motor de cuatro tiempos (Fuente: Toyocosta.com)
- Figura 4.16: Diagrama ciclo Otto (Fuente: Wikipedia.com)
- Figura 4.17: Esquema de Cogeneracion con motor (Fuente: Construible.es)
- Figura 4.18: Balance de energía en la trigeneración (Fuente: fundacionnaturgy.org)
- Figura 4.19: Ciclo de Carnot inverso (Fuente: www.digitalbooks.pro)
- Figura 4.20: Diagrama de Carnot inverso (Fuente: www.digitalbooks.pro)
- Figura 4.21: Ciclo ideal de refrigeración (Fuente: rsilvera.blogspot.com)
- Figura 4.22: Diagrama de ciclo ideal de refrigeración (Fuente: rsilvera.blogspot.com)
- Figura 4.23: Diagrama de refrigeración por compresión con irreversibilidades (Fuente: rsilvera.blogspot.com)
- Figura 4.24: Refrigeración por compresión múltiple (Fuente: www.slideshare.com)
- Figura 4.25: Diagrama de refrigeración por compresión múltiple (Fuente: www.slideshare.com)
- Figura 4.26: Esquema del sistema de refrigeración por compresión en cascada (Fuente: refrogeracion-blogspot.com)
- Figura 4.27: Diagrama del sistema de refrigeración por compresión en cascada (Fuente: refrogeracion-blogspot.com)
- Figura 4.28: Elemento condensador (Fuente: bibling.us.es)
- Figura 4.29: Elemento absorbedor (Fuente: bibling.us.es)
- Figura 4.30: Refrigeración por absorción de simple efecto (Fuente: refrisoluciones.blogspot.com)

- Figura 6.1: Turbina de gas (Fuente: laplace.us.es)
- Figura 6.2: Partes del ciclo Brayton (Fuente: laplace.us.es)
- Figura 6.3: Turbina de vapor (Fuente: areatecnologia.com)
- Figura 6.4: Maquina de absorción (Fuente: factorrenovable.es)
- Figura 6.5: Refrigeración en cascada (Fuente: mayekawa.com)
- Figura 8.1: Horas de luz natural.
- Figura 8.2: Horas de luz natural y luz artificial del centro deportivo.
- Figura 8.3: Potencia de calefacción necesaria en cada periodo.
- Figura 8.4: Potencia de refrigeración necesaria en cada periodo.
- Figura 8.5: Comparación entre potencia de calefacción y refrigeración.
- Figura 8.6: Esquema de funcionamiento del sistema de trigeneración.
- Figura 8.7: Potencia necesaria de la turbina para generar energía eléctrica y térmica
- Figura 9.1: Funcionamiento convencional del centro deportivo.
- Figura 10.1: Funcionamiento con trigeneración del centro deportivo.
- Figura 11.1: Actualización del valor futuro al presente. (Fuente: econosublime.com)
- Figura 11.2: Cálculo del Valor Actual Neto.
- Figura 11.3: Grafica VAN-TIR.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1: Superficies de la planta baja.

Tabla 5.2: Superficies de la primera planta.

Tabla 5.3: Superficie total del centro deportivo.

Tabla 5.1: Matriz de decisión.

Tabla 8.1 Horas diarias de luz artificial dependiendo del mes.

Tabla 8.2: Puntos de luz necesarios en la planta baja.

Tabla 8.3: Puntos de luz necesarios en la primera planta.

Tabla 8.4: Puntos de luz necesarios en el centro deportivo.

Tabla 8.5: Potencia total de otros elementos.

Tabla 8.6: Superficie de transmisión.

Tabla 8.7: Coeficiente de transmisión.

Tabla 8.8: Condiciones interiores de diseño (RITE).

Tabla 8.9: Calor por transmisión del centro deportivo en verano.

Tabla 8.10: Calor por transmisión del centro deportivo en invierno.

Tabla 8.11: Calor sensible y latente aportado por ventilación.

Tabla 8.12: Radiación solar máxima según la orientación (Fuente: Manual Carrier).

Tabla 8.13: Factor solar (Fuente: Saint-Gobain Glass).

Tabla 8.14: Calor sensible aportado por radiación.

Tabla 8.15: Calor sensible y latente por cada persona (Fuente: nerguiza).

Tabla 8.16: Calor sensible y latente aportado por ocupación.

Tabla 8.17: Potencia térmica desglosada.

Tabla 8.18: Potencia térmica total.

Tabla 8.19: Porcentaje de carga al que funciona la calefacción en cada periodo.

Tabla 8.20: Porcentaje de carga al que funciona la refrigeración en cada periodo.

Tabla 8.21: Potencia de calefacción necesaria en cada periodo.

Tabla 8.22: Energía de calefacción consumida al mes en cada periodo.

Tabla 8.23: Potencia de refrigeración necesaria en cada periodo.

Tabla 8.24: Energía de refrigeración consumida al mes en cada periodo.

Tabla 8.25: Porcentaje de carga al que funciona el ACS en los vestuarios.

Tabla 8.26: Energía térmica de ACS de ducha consumida al mes en cada periodo.

Tabla 8.27: Porcentaje de carga al que funciona el ACS en la piscina.

Tabla 8.28: Energía térmica de ACS de piscina consumida al mes en cada periodo.

Tabla 9.1: Energía térmica mensual en la situación convencional en cada periodo.

Tabla 9.2: Energía térmica anual en la situación convencional.

Tabla 9.3: Consumo mensual en los puntos de luz.

Tabla 9.4: Consumo mensual de elementos eléctricos.

Tabla 9.5: Estimación mensual de la demanda eléctrica.

Tabla 9.6: Coste de la demanda total en la situación convencional.

Tabla 10.1: Energía térmica mensual en la situación de trigeneración en cada periodo.

Tabla 10.2: Energía térmica anual en la situación de trigeneración.

Tabla 10.3: Cálculo de la energía eléctrica generada a partir de la energía térmica.

Tabla 10.4: Consumos y costes mensuales y anuales en la situación de trigeneración.

Tabla 11.1: Estimación del presupuesto de trigeneración.

Tabla 11.2: Gastos totales en la situación convencional y de trigeneración.

Tabla 11.3: Amortización del sistema de trigeneración comparándolo con la convencional.



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS Y MINEROS
ESPECIALIDAD EN RECURSOS ENERGÉTICOS
ESTUDIO DE IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRIGENERACIÓN EN UN CENTRO DEPORTIVO



1. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica y la energía térmica constituyen una necesidad básica en el mundo moderno, sin embargo, existen diversos problemas a la hora de obtener dicha energía, tales como, la escasez, el coste o la contaminación.

Debido al crecimiento en la demanda energética y con el fin de incentivar las nuevas tecnologías basadas en las energías renovables se pretende instalar un sistema de trigeneración en un centro deportivo situado en Cantabria.

Siguiendo los pasos de otros países de la unión europea, se propone fomentar el uso de la generación de energía mediante cogeneración y trigeneración, para conseguir una reducción de los costes y las emisiones de gases de efecto invernadero.

En apoyo con el **Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica (PNCCA)**, aprobado por el consejo de ministros el día 27/09/2019 en el cual se pretenden reducir las emisiones contaminantes para el año 2030, establece una serie de medidas, a través de las cuales se quieren impulsar el uso de las nuevas energías renovables y un uso eficiente de las mismas, reduciendo de manera significativa los niveles de contaminación y mejorando la calidad del aire.

Con las medidas adoptadas por este plan se prevé que para el año 2030 se hayan reducido un 92% de dióxido de azufre, 66% óxidos de nitrógeno, 30% compuestos orgánicos volátiles no metálicos, 21% amoníaco y 50% de partículas finas, respecto al año 2005. [1]

Los beneficios de las energías renovables se producen al sustituir energías contaminantes por energías que produzcan menos CO₂, consiguiendo reducir los niveles de contaminación.

Habitualmente, para conseguir energía eléctrica, los usuarios la obtienen de la red, lo que implica un mayor coste, comparándolo con un sistema de trigeneración, el cual es un sistema con una mayor eficiencia y no necesita un transporte de la energía ya que dicha energía se obtiene en el mismo lugar de consumo del usuario.

Se define cogeneración como la producción simultánea de energía eléctrica y energía térmica con un mismo combustible.

Asimismo, definimos trigeneración como la producción de energía mecánica (transformada en Energía Eléctrica) y energía térmica en forma de calor y frío, obteniendo el frío mediante un sistema de refrigeración.

2. ALCANCE Y OBJETIVOS

Un centro deportivo situado en Cantabria pretende utilizar un sistema de trigeneración para la obtención de energía eléctrica y energía térmica. Mediante el sistema de trigeneración podemos utilizar un combustible para producir energía eléctrica y aprovechar el calor residual para conseguir la energía térmica con la que poder calentar y refrigerar el centro deportivo.

El objeto de este estudio será la implantación y el análisis económico de un conjunto de equipos que permitan la instalación de un sistema de trigeneración a partir de una situación convencional en un Centro Deportivo que dispone de cafetería, piscina climatizada y diferentes salas deportivas.

Por consiguiente, este estudio describirá de forma detallada un sistema de trigeneración, el cálculo de la potencia adecuada, así como una comparativa en el ahorro de costes con la situación convencional en la que se obtiene energía eléctrica por parte de la red y generando la energía térmica por medio de una sala de calderas de uso convencional, utilizando gas natural como combustible.

Por lo cual, debemos conocer la demanda energética y térmica necesaria para satisfacer sus necesidades.

El sistema de trigeneración se proyecta fundamentalmente como un uso eficiente de la energía, las principales ventajas que se presentan en la realización de este estudio son, una medida de ahorro económico y una reducción del impacto ambiental, adecuándolo para cubrir las demandas energéticas necesarias.

3. NORMATIVA DE APLICACIÓN

La regulación de las energías renovables comienza en el año 1980 con el fin de hacer frente a la crisis del petróleo y mejorar la eficiencia energética.

Para la implantación del sistema de trigeneración que abastecerá de energía eléctrica y energía térmica al centro deportivo, se tendrán en cuenta la siguiente Legislación, conteniendo los Reglamentos y Normas siguientes:

Regulación del sistema Eléctrico, suministro de energía:

- Ley 54/1997 de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico (Ley de Regulación del Sector Eléctrico), regula las actividades destinadas al suministro de energía eléctrica y las modificaciones introducidas por la Ley 50/1998 de 30 de Diciembre de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social.
- Real Decreto 1955/2000 de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 841/2002, de 2 de agosto, por el que se regula, para las instalaciones de producción de energía eléctrica, en régimen especial, su incentivación en la participación en el mercado de producción, determinadas obligaciones de información de sus previsiones de producción y la adquisición, por los comercializadores, de su energía eléctrica producida.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
- Real Decreto 616/2007, de 11 de mayo, sobre fomento de la cogeneración.
- Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación y las Instrucciones Técnicas Complementarias, aprobado por Decreto 3275/1982, modificado por Orden Ministerial, de 10 de abril de 2000.
- Instrucciones Técnicas Complementarias, denominadas MI-BT. Aprobadas por Orden del MINER, de 18 de septiembre de 2.002.
- Modificaciones a las Instrucciones Técnicas Complementarias, hasta el 10 de marzo de 2.002.
- Autorización de Instalaciones Eléctricas. Aprobado por Ley 40/94, de 30 de diciembre, B.O.E. de 31 de diciembre de 1.994.
- Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional y desarrollos posteriores. Aprobado por Ley 40/1.994, B.O.E. de 31 de diciembre de 1.994.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica (B.O.E. de 27 de diciembre de 2.000).
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. Condiciones impuestas por los Organismos Públicos afectados.
- Ley de Regulación del Sector Eléctrico, Ley 54/1997, de 27 de noviembre.
- Reglamento de Puntos de Medida, aprobado por el Real Decreto 2018/1997, de 26 de diciembre y modificado por el Real Decreto 385/2002, de 26 de abril.
- Instrucciones Técnicas Complementarias al Reglamento de Puntos de Medida, aprobadas por la Orden Ministerial de 12 de abril de 1999.

- Ley 16/2002, de 1 de Julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación.
- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones
- Térmicas en los Edificios.
- Plan General de Ordenación Urbanística del Término Municipal de CANTABRIA
- Cualquier otra reglamentación de obligado cumplimiento para este tipo de instalaciones.
- R.D. 900/2015 de 9 de octubre, se regula las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.
- R.D. 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica, en régimen especial.

Electricidad

- Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética.
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- R.D. 1110/2007 donde se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.
- Decreto 147/2009, de 22 de septiembre, por el cual se regulan los procedimientos administrativos
- aplicables para la implantación de parques eólicos e instalaciones fotovoltaicas a Catalunya.
- R.D. 1699/2011 de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
- R.D. 337/2014 de 9 de mayo, donde se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 23.
- R.D. 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables, cogeneración y residuos.
- Reglamento de L.A.A.T. Aprobado por Decreto Real 223/2008 que deroga el anterior reglamento aprobado en el Real Decreto 3.151/1968, de 28 de noviembre, B.O.E. de 27/12/68
- Normas particulares y de normalización de la Cía Suministradora de Energía Eléctrica.

Medio Ambiental

- Ley 21/2013 de 9 de diciembre de evaluación ambiental
- Ley 6/2010, de 24 de marzo, de modificación del texto refundido de la ley de evaluación de impacto ambiental de los proyectos aprobado por el real decreto legislativo 1/2008, de 11 de enero.
- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrado de la contaminación.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre de calidad del aire y protección de la atmósfera

Seguridad

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, sobre prevención de riesgos laborales
- R.D. 1627/97, de 24 de octubre, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción
- R.D. 486/1997 de 14 de abril, se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo.
- R.D. 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la ley 31/1995, en materia de coordinación de actividades empresariales.
- Ley 20/2009, de 4 de diciembre, relativa a la prevención y control de las actividades.
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales

4. ESTADO DEL ARTE

Para poder realizar correctamente un estudio de viabilidad y poder comparar sus costes, en primer lugar, debemos conocer cómo funciona el sistema eléctrico y como se obtiene la energía térmica en la actualidad, y en segundo lugar, cómo funciona un sistema de trigeneración y cuáles son sus principales elementos.

Las fuentes primarias en la obtención de energía, son aquellas disponibles en la naturaleza, antes de ser transformadas y existen dos tipos de energías, las renovables y las no renovables.

Energías primarias no renovables:

Refiriéndose a aquellas energías primarias en la naturaleza cuya cantidad es limitada, y una vez consumidas, no pueden ser reutilizadas

- **Petróleo:** Sustancia compuesta por una mezcla de hidrocarburos, se encuentra en yacimientos subterráneos de los estratos superiores de la corteza terrestre, la destilación fraccionada da lugar a la gasolina o al queroseno.
- **Gas natural:** Gas procedente de la actividad volcánica, es un hidrocarburo y está compuesto por una mezcla de gases, principalmente metano.
- **Carbón:** es una sustancia sólida y negra que resulta de la destilación y combustión incompleta de la leña o cuerpos orgánicos. Rica en carbono y formada principalmente por hidrogeno, azufre, nitrógeno y oxígeno.
- **Nuclear:** Obtenido de la desintegración del átomo con ruptura de su núcleo, el combustible nuclear más común es el uranio.

Energías primarias renovables:

Son aquellas energías primarias que se encuentran en la naturaleza y se las considera inagotables.

- **Hidráulica:** La forma de obtención de la energía se realiza mediante el aprovechamiento de las propiedades mecánicas de los líquidos sometidos a determinadas fuerzas.
- **Eólica:** El aprovechamiento de energía cinética de las masas de aire mediante la fuerza del viento.
- **Solar:** Se obtiene la energía a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol.
- **Biomasa:** Se obtiene la energía mediante la quema de materia orgánica. Las plantas utilizan la energía radiante del sol y la transforman en energía química a través de la fotosíntesis. Esta energía química puede recuperarse, quemándola.

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA EN EL MUNDO

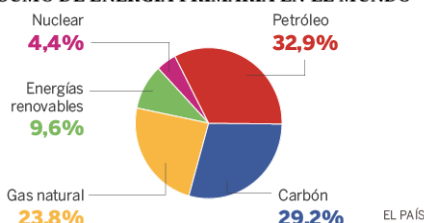


Figura 4.1: Consumo de energía primaria (Fuente: www.elpais.es).

Cómo funciona el sistema eléctrico en la actualidad:

Al sistema eléctrico en la actualidad, lo denominamos “Situación convencional”, una situación en la cual, se obtiene la energía eléctrica mediante una forma común, es decir, conectados a una red de distribución.

Habitualmente, para suministrar electricidad a cualquier centro, en este caso, al centro deportivo, la energía eléctrica se obtiene de la red, desde los proveedores hasta los consumidores.

- La energía eléctrica se produce en las **plantas generadoras** (Centrales hidráulicas, térmicas, etc...), son instalaciones con máquinas motrices que se utilizan para generar la energía eléctrica. Según el servicio que prestan se diferencian en centrales de base, punta, o de socorro.
- En el **transporte de la energía eléctrica** debemos aumentar el voltaje, para reducir las pérdidas por efecto Joule, antes de llegar al centro de consumo a través de las líneas de distribución, se le hace pasar por un centro de transformación para bajar el voltaje, y llegar a una tensión adecuada.

TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA

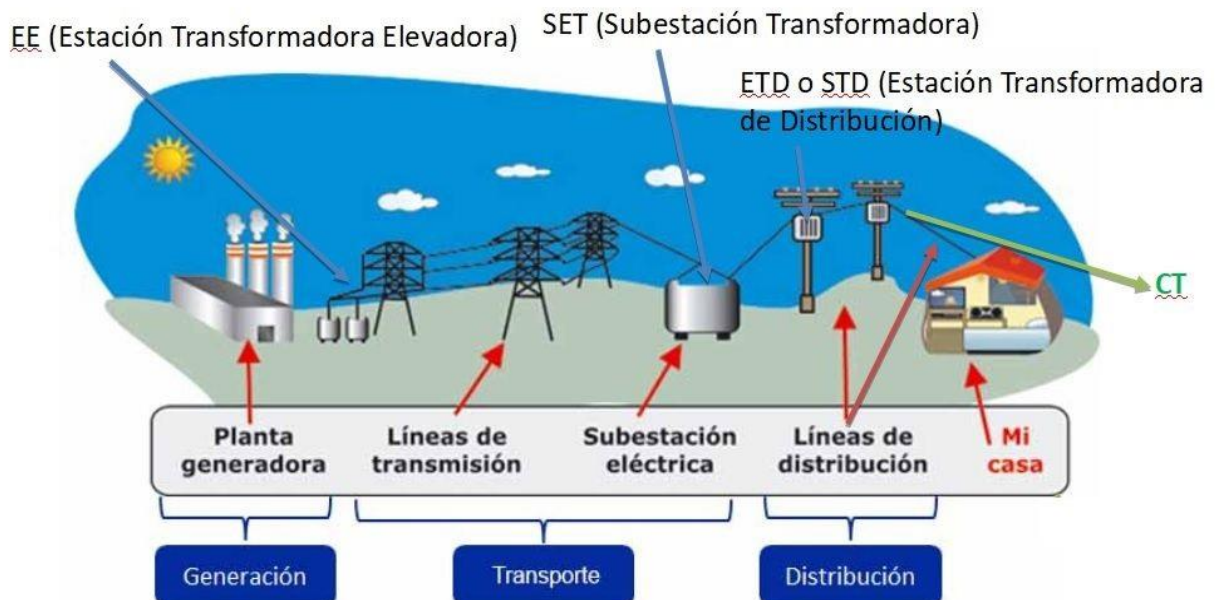


Figura 4.2: Transporte de la energía eléctrica (Fuente: www.areatecnologia.com)

Como se obtiene la energía térmica en la actualidad.

La energía térmica para calentar cualquier local en la actualidad se suele conseguir mediante la combustión de gases en una caldera. La caldera es un aparato con el cual obtenemos agua caliente a partir de un combustible, generalmente gas natural, provisto con un extractor de humos, para la salida de los gases de combustión, después de haber cedido calor al fluido.

Las calderas de combustión se pueden clasificar según el combustible utilizado (gas, gasoil o eléctricas (calor azul)). Dentro de las calderas de combustión se pueden diferenciar según la tecnología que utilizan y el uso que se las vaya a dar, se podrán clasificar en calentadores (solo calefacción) o mixtas (calefacción y ACS). [2]

Tipo de calderas mixtas:

- Estancas: Estas calderas están dispuestas de una cámara de combustión, cerrada herméticamente, donde se realiza la combustión de los gases, cuya evacuación es llevada a cabo mediante un ventilador. Su instalación no está homologada.
- Bajo NO_x: La principal diferencia con las anteriores es que estas son menos contaminantes. Disminuye la emisión del óxido de nitrógeno a la atmosfera.
- Condensación: Son calderas de mayor rendimiento, de bajo NO_x, estas calderas son recomendables para viviendas unifamiliares.

La energía térmica para poder calentar y abastecer de agua caliente sanitaria (ACS) al centro deportivo se obtiene mediante un grupo de calderas mixtas de condensación situadas en una sala destinada para determinada función, denominada "sala de calderas".

En el centro deportivo se utiliza un grupo de calderas de tecnología mixta, debido a que esta tecnología es capaz de obtener agua caliente para la calefacción y ACS, para las duchas de los vestuarios y para climatizar la piscina.

Se considera caldera de condensación cuando es capaz de condensar una parte importante de los vapores de agua contenidos en los gases de combustión.

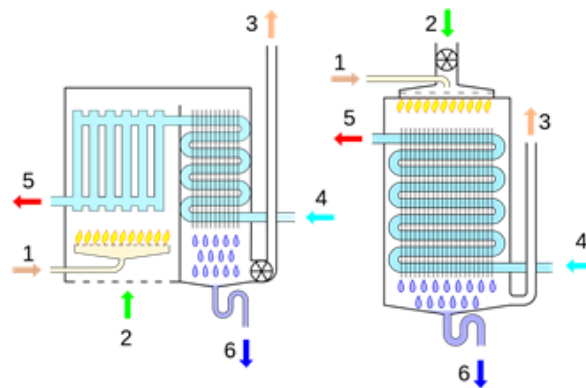
Con una caldera que no sea de tecnología de condensación, una parte del calor latente es evacuada por los humos, lo que implica una temperatura elevada de los productos de la combustión, pero con una caldera de condensación es aprovechado el calor latente.

El principio de funcionamiento de las calderas de condensación se basa en el proceso de condensación, la condensación es el cambio de estado de la materia de forma gaseosa pasa a estado líquido, este cambio genera una cantidad de energía llamada "calor latente". El calor latente de la combustión se recupera y es aprovechado para calentar el agua, la temperatura de salida de los gases sale a una temperatura menor que en las calderas convencionales. [3]

Se precisa de un desagüe para poder extraer el agua condensada.

Ventajas de calderas de condensación:

- Altos rendimientos, aprovecha al máximo el combustible.
- Ahorro respecto otras calderas.
- Se puede regular la temperatura.



1. Entrada de gases.
2. Entrada de aire.
3. Salida de gases.
4. Retorno de emisores.
5. Ida de emisores.
6. Agua condensada.

Figura 4.3: Caldera de condensación (Fuente: www.gasnature.com)

El sistema de trigeneración (Combined Cold Heat and Power (CCHP))

En un proceso termodinámico no puede aprovecharse todo el calor absorbido, siendo el objetivo de la trigeneración aprovechar parte de este calor, de forma que no se pierda tanta cantidad de energía.

Para entender cómo funciona la trigeneración primero debemos explicar la cogeneración, ya que la trigeneración se basa en la cogeneración y un sistema de refrigeración.

En un sistema de cogeneración se obtiene energía eléctrica y energía térmica en forma de calor a partir de un combustible y existen diferentes metodologías para poder obtenerlo:

- Turbina de gas (Ciclo Brayton).
- Turbina de vapor (Ciclo Rankine).
- Motor de combustión interna.

En el sistema de trigeneración se añade un sistema de absorción o un ciclo convencional de refrigeración por compresión para obtener frío.

Refrigeración por compresión:

- Ciclo de Carnot
- Compresión de vapor
 - o Ciclo ideal (Reversible)
 - o Ciclo real
- Refrigeración Múltiple (Directo)
- Refrigeración Cascada (Indirecto)

Refrigeración por absorción:

- Máquina de absorción.

Ventajas de la trigeneración:

- Tiene un rendimiento mayor que una central convencional.
- Se produce cerca del centro de consumo, por lo cual tiene menos pérdidas por efecto Joule.

4.1. COGENERACIÓN CON TURBINA DE GAS

La cogeneración mediante una turbina de gas se representa con el ciclo Brayton, dicho ciclo también se compone de un compresor y una cámara de combustión.

La máquina sigue un ciclo abierto, debido a que se renueva continuamente el flujo de aire que proviene del exterior, este aire se comprime a su paso por el compresor para después pasar a la cámara de combustión, en esta cámara de combustión se inyecta combustible, que al contacto con el aire ya comprimido se produce la combustión, los gases de la combustión se dirigen hasta la turbina de gas donde se expanden y hacen mover el eje, para crear la energía mecánica.

Una turbina de gas es un motor térmico rotativo de combustión interna, a partir de la energía aportada por el combustible a la cámara de combustión se produce energía mecánica que genera una gran cantidad de calor.

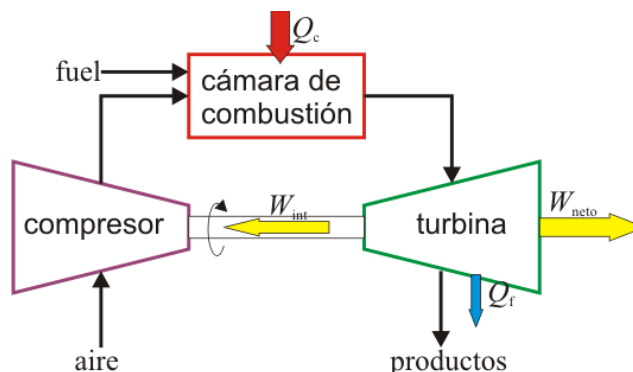


Figura 4.4: Esquema del ciclo Brayton (Fuente: www.laplace.us.es)

En la figura 4.5 podemos ver una gráfica en la que se representa en el eje de ordenadas la temperatura y la entropía en el eje de abscisas, en ella se comprueba visualmente los procesos termodinámicos ideales y reales que sufre el aire en el ciclo Brayton.

El gráfico representado en negro muestra una representación ideal de las transformaciones termodinámicas, mientras que el que está representado en azul muestra como son realmente esas transformaciones.

Utilizamos las transformaciones ideales para realizar los cálculos fácilmente, en un ciclo ideal, el aire exterior entra al compresor a presión atmosférica con una entropía (S_1) y sale de él con una entropía (S_2), el proceso termodinámico que sufre al paso por el compresor es un proceso isentrópico, lo que quiere decir que tiene entropía constante ($S_1=S_2$), a continuación a su paso por la cámara de combustión sufre un proceso isobárico, a presión constante ($P_2=P_3$), y por último, pasa por la turbina, pasa lo mismo que en el compresor, sufre una transformación isentrópica ($S_3=S_4$), saliendo al exterior otra vez a presión atmosférica. [4]

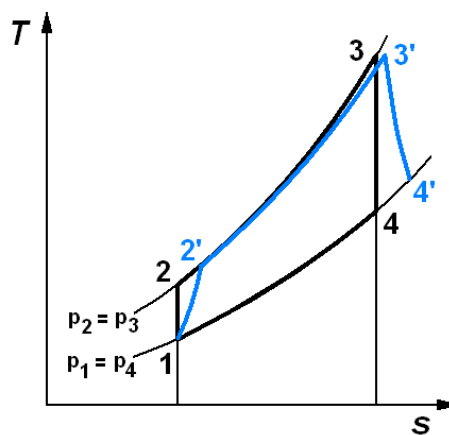


Figura 4.5: Grafica Real del Ciclo Brayton (Fuente: www.wikipedia.es)

Este ciclo tiene un rendimiento global menor que los ciclos que funcionan con un motor de combustión interna.

También tiene algunas ventajas:

- El calor se recupera fácilmente.
- Gran fiabilidad.
- Económicamente rentable cuando la demanda es grande y tiene una demanda continua de calor.

El sistema de cogeneración consta dos partes, el primero está compuesto por una turbina de gas (ciclo Brayton) y una caldera de recuperación.

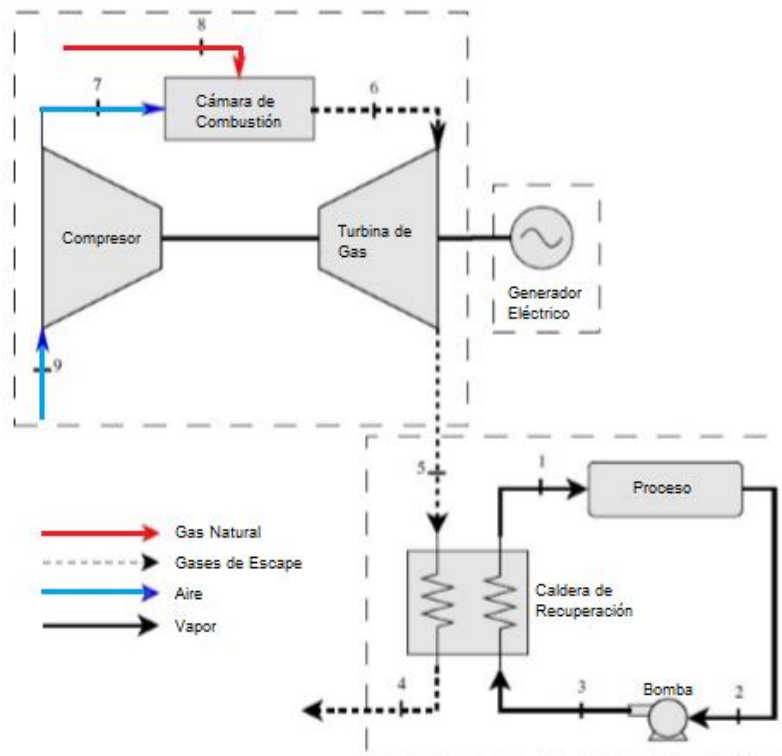


Figura 4.6: Sistema de cogeneración mediante ciclo Brayton (Fuente: www.cogeneracionbrasil)

Para conseguir una mayor eficiencia y un mayor rendimiento utilizando el ciclo Brayton, se puede utilizar un sistema conocido como regeneración, es decir, los gases a la salida de la turbina pueden sufrir un recalentamiento e introducirlos en la turbina de vapor, así conseguiríamos un aumento del rendimiento global del ciclo hasta un 55%. [5]

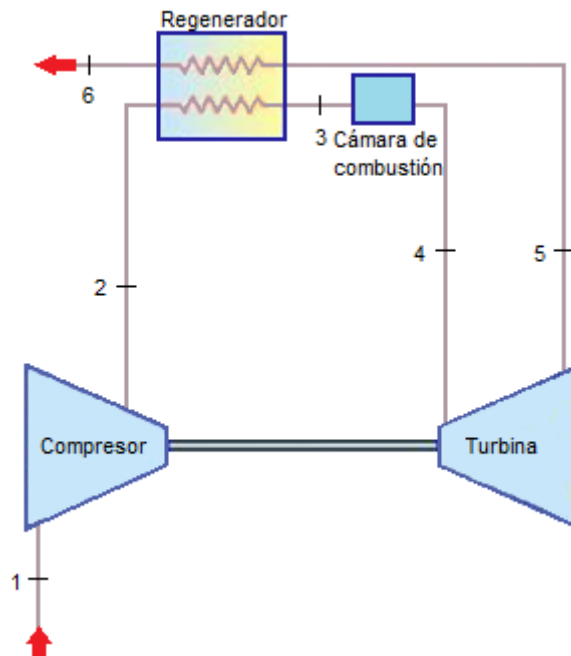


Figura 4.7: Ciclo Brayton con regeneración (Fuente: Opexenergy.com)

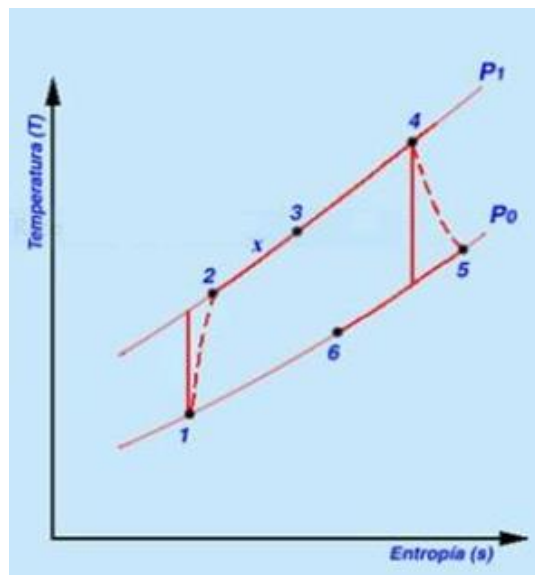


Figura 4.8: Diagrama de Ciclo Brayton con regeneración (Fuente: www.opexenergy.com)

4.2. COGENERACIÓN CON TURBINA DE VAPOR

La cogeneración mediante una turbina de vapor se representa con el ciclo Rankine, dicho ciclo también se compone una bomba, la caldera y un condensador.

La turbina de vapor, es una turbo máquina motora, que funciona de forma similar a la turbina de gas, la turbina está formada por un rotor, dispuesto con unos alabes, cuando el vapor que pasa por la turbina empuja los alabes, que hacen girar el eje, aportando energía mecánica, esta energía se transmite a un generador para producir la energía eléctrica.

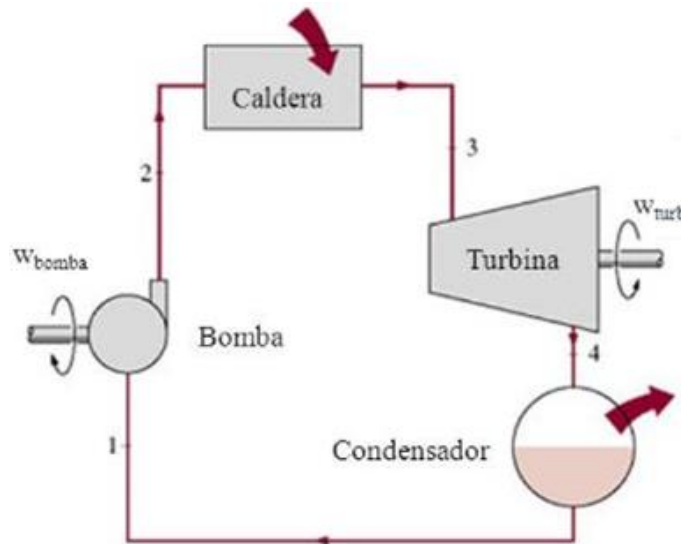


Figura 4.9: Ciclo Rankine (Fuente: www.slideplayer.com)

En la figura 4.10 podemos ver un diagrama en donde se representa en el eje de ordenadas la temperatura y la entropía en el eje de abscisas, en ella se comprueba visualmente los procesos termodinámicos que sufre el agua en el ciclo Rankine.

Utilizamos las transformaciones ideales para realizar los cálculos fácilmente, en un ciclo ideal, el fluido pasa por la bomba con una entropía (S_1) y sale de él con una entropía (S_2), el proceso termodinámico que sufre al paso por la bomba es un proceso isoentrópico, lo que quiere decir que tiene entropía constante ($S_1=S_2$), a continuación a su paso por la caldera sufre un proceso isobárico, a presión constante ($P_2=P_3$), y por último, pasa por la turbina, pasa lo mismo que en la bomba, sufre una transformación isoentrópica ($S_3=S_4$), saliendo de la turbina en el punto 4 a la misma presión del principio del sistema ($P_4=P_1$). [6]

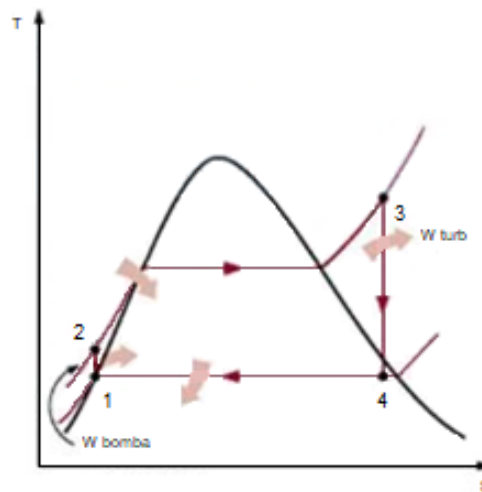


Figura 4.10: Diagrama ciclo Rankine (Fuente: slideplayer.com).

El ciclo Rankine con recalentamiento, sirve para conseguir una mayor eficiencia y un mayor rendimiento, la desventaja de utilizar un ciclo con recalentamiento es que se tendría a elevar a niveles inseguros, lo que la convierte en una solución no viable.

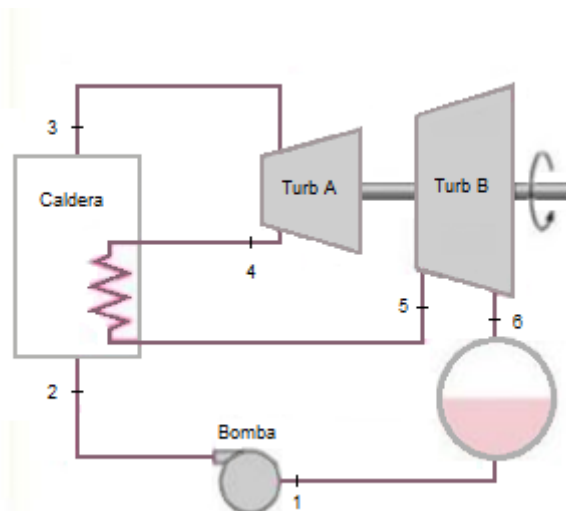


Figura 4.11: Ciclo Rankine con recalentamiento con 2 turbinas (Fuente: www.slideshare.net)

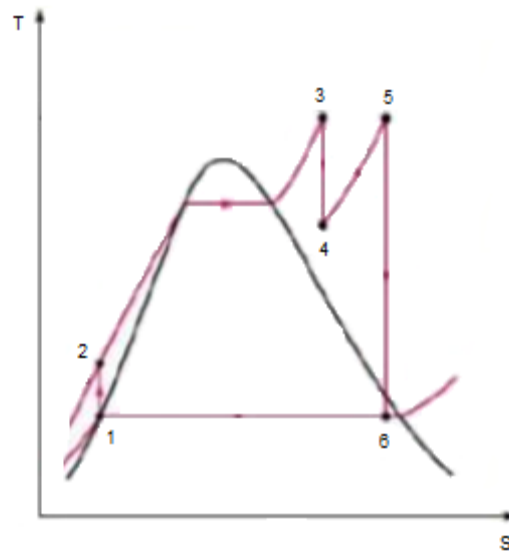


Figura 4.12: Diagrama del Ciclo Rankine con recalentamiento (Fuente: www.slideshare.net)

4.3. COGENERACION CON CICLO COMBINADO

El ciclo combinado es aquel con el que se genera energía eléctrica con dos ciclos termodinámicos de diferente naturaleza en un mismo sistema, el más utilizado es el Brayton-Rankine (Gas + Vapor).

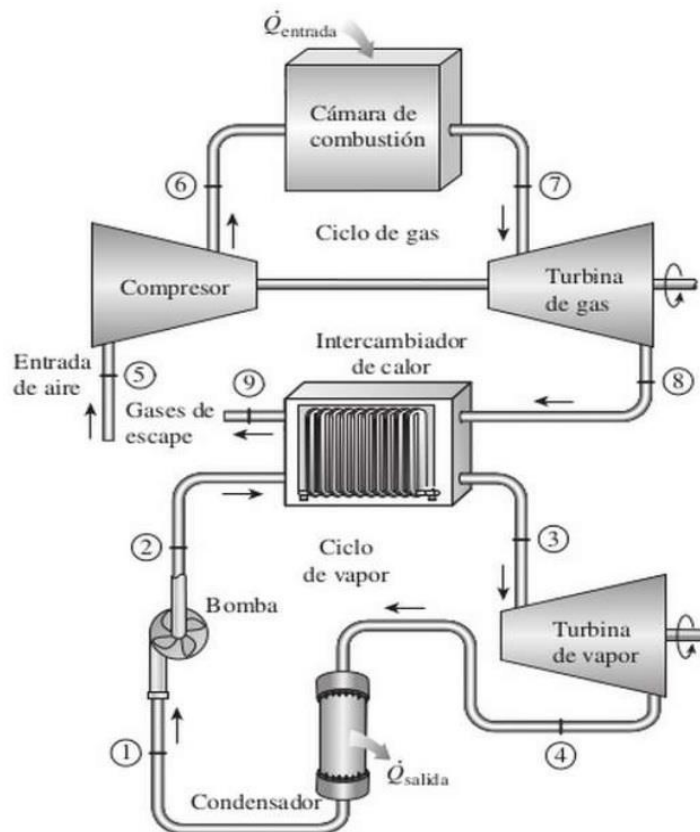


Figura 4.13: Ciclo combinado Brayton Rankine (Fuente: slideshare.net)

Los gases de escape de la turbina de gas requieren un aprovechamiento térmico, mediante una caldera de recuperación.

La turbina de vapor de ciclo Rankine es alimentada por el vapor generado en la caldera de recuperación, produciendo vapor a alta presión, ese vapor a alta presión se descomprime en una turbina de vapor produciendo energía eléctrica adicional. [7]

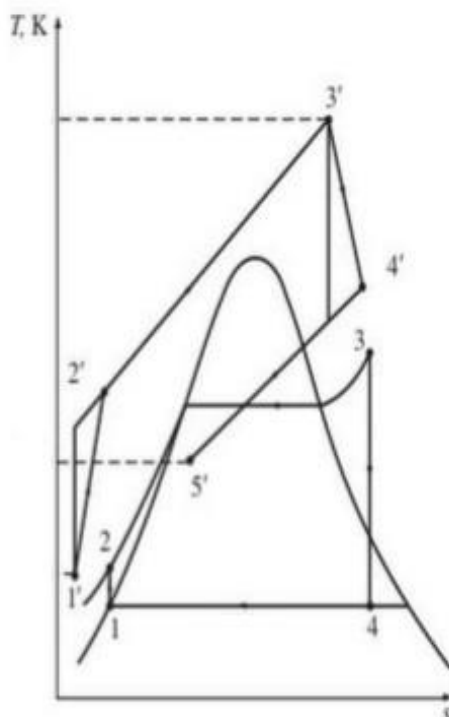


Figura 4.14: Diagrama del ciclo combinado (Fuente: slideshare.net)

4.4. COGENERACIÓN CON MOTOR DE COMBUSTION INTERNA

Un motor de combustión interna es una máquina que transforma la energía química de los carburantes en energía mecánica. A partir de una mezcla de aire y combustible se obtiene energía mecánica y calor.

Los motores de combustión se clasifican según los ciclos de trabajo, los más utilizados son los de 4 tiempos en los que cada tiempo corresponde con el número de recorridos del pistón. Se denominan de cuatro tiempos porque realizan cuatro recorridos del pistón.

Admisión: Recorrido del pistón desde la cámara de combustión hasta el final de la carrera. La válvula de admisión por donde entra la mezcla de aire y combustible permanece abierta.

Compresión: el pistón se mueve en sentido contrario, comprimiendo la mezcla de aire y combustible. Durante este movimiento las válvulas están cerradas, el pistón se mueve hacia el PHS, cuando llega al final de la bujía se activa y se enciende la mezcla.

Expansión: La única carrera útil dentro del ciclo, al recibir la chispa los gases se inflama y ejercen una fuerte presión sobre el pistón, empujándolo hasta el extremo de la carrera, transformando la energía química de la combustión en energía mecánica, esta energía mecánica se transmite a la biela y de ahí al cigüeñal.

Escape: tiene un recorrido igual a la compresión pero con la válvula de escape abierta, se produce la expulsión de los gases ya quemados.

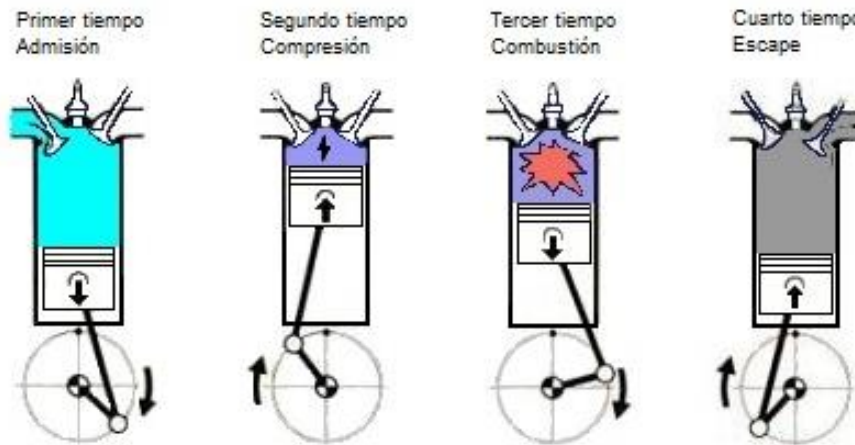


Figura 4.15: Motor de cuatro tiempos (Fuente: Toyocosta.com)

El ciclo de 4 tiempos es utilizado para motores de gasolina (conocidos como motores Otto) o motores diésel.

En los motores de ciclo Otto el combustible se mezcla con el aire necesario, en los motores diésel el combustible se inyecta directamente a la pre-cámara (inyección indirecta) o en la cámara de combustión (inyección directa) el encendido se produce debido a las altas temperaturas en la compresión. [8]

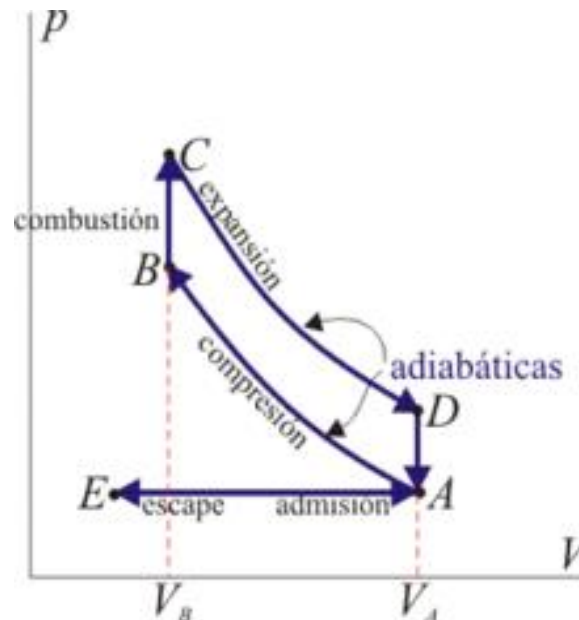


Figura 4.16: Diagrama de ciclo Otto (Fuente: Wikipedia.com)

La relación de compresión es la relación que hay entre el volumen total del cilindro y el volumen de la cámara de compresión, define el rendimiento térmico, los motores de ciclo diésel trabajan en un rango doble del motor Otto.

La relación de compresión en un motor de combustión interna tipo diésel llega hasta 22:1, superando una presión de 3500 bar durante la combustión. [9]

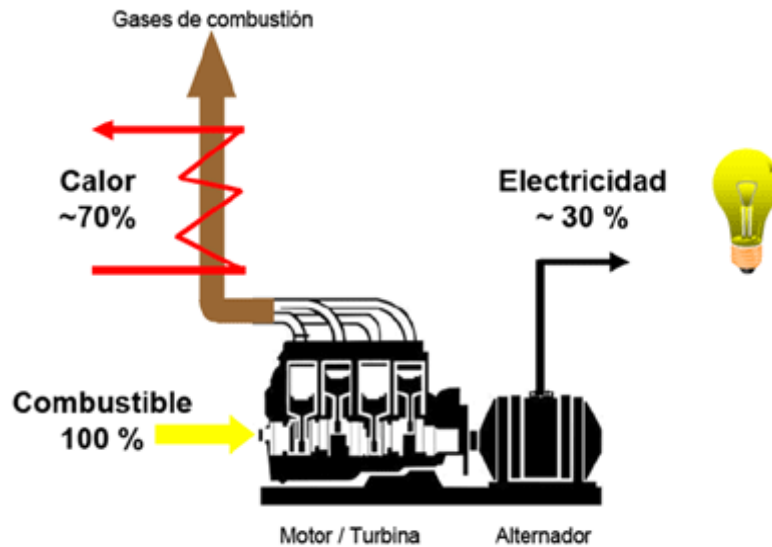


Figura 4.17: Esquema de Cogeneración con motor (Fuente:Construible.es)

4.5. TRIGENERACIÓN

La trigeneración se define como la generación de energía eléctrica y energía térmica en forma calor y de frío, el cual se puede conseguir por compresión o mediante la máquina de absorción.

Se trata de aprovechar el calor de la generación de energía eléctrica para producir calor y frío a partir de un único combustible.

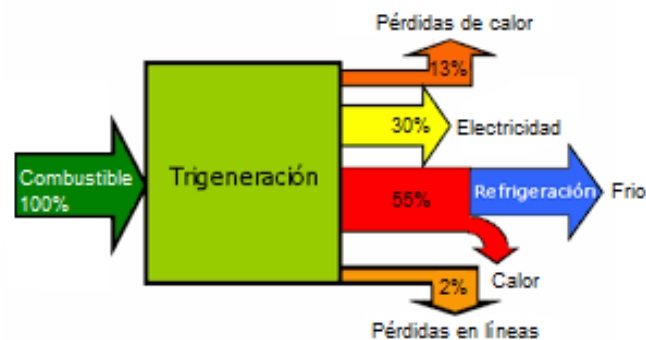


Figura 4.18: Balance de energía en la trigeneración (Fuente: fundacionnaturgy.org)

Un sistema de trigeneración se consigue al acoplar un sistema de cogeneración por motor o por turbina, junto a un sistema de refrigeración:

- Refrigeración por compresión.
- Mediante una máquina de absorción, destinada a refrigerar el agua utilizando la energía térmica contenida.

4.5.1. Introducción a los ciclos de refrigeración

La refrigeración consiste en la transferencia de calor desde una región de temperatura inferior a otra superior, para lograr esa transferencia de calor es necesario aportar una determinada energía, mediante unos fluidos conocidos como refrigerantes.

4.5.1.1. Refrigeración por compresión

Basado en los cambios de estado (Líquido-Vapor y Vapor-Líquido) de un fluido refrigerante. La temperatura de cambio de estado depende directamente de la presión por lo que se busca un líquido a baja presión y baja temperatura para evaporarlo. En un sistema abierto el refrigerante se perdería a la atmósfera, lo normal es trabajar con ciclos de refrigeración cerrados.

Ciclo de Carnot inverso

El ciclo de Carnot es totalmente reversible, permitiendo que los cuatro procesos que lo constituyen puede invertirse.

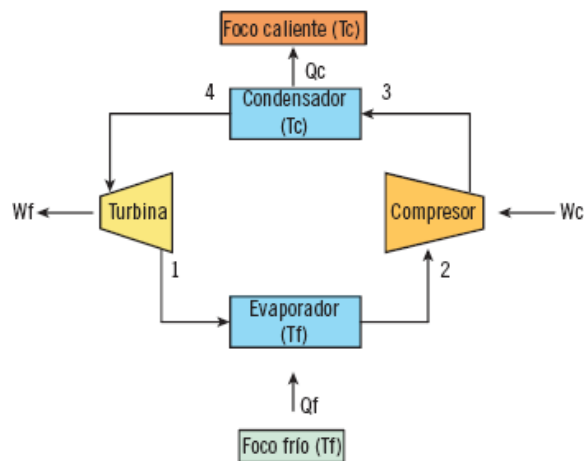


Figura 4.19: Ciclo de Carnot inverso (Fuente: digitalbooks.pro)

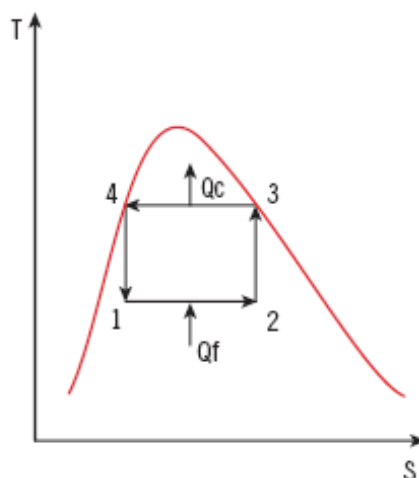


Figura 4.20: Diagrama de Carnot inverso (Fuente: digitalbooks.pro).

Compresor: Un compresor accionado por un motor, aumenta la presión del refrigerante, de forma isentrópica, hasta alcanzar la temperatura máxima del ciclo.

Condensador: Se produce la condensación isoterma (Cambio de fase Vapor-Líquido) en la que el calor es evacuado al foco térmico caliente (el agua del condensador que circula en contracorriente con el fluido que viene del compresor y absorbe el calor).

Expansión: Se produce una expansión isentrópica del refrigerante, una vez licuado, disminuye su presión y temperatura hasta la mínima temperatura.

Evaporador: Se pasa al evaporador, en donde el calor puede ser absorbido del recinto que se quiere refrigerar, o sustancia CINA (Actúa de fuente fría, es un fluido que llega a una temperatura de -15°C sin congelarse), circulara a contracorriente a una temperatura superior que la máxima del ciclo.

El ciclo de Carnot no se utiliza en la práctica, se utiliza como referencia para evaluar el desempeño de un dispositivo real que trabaje bajo las mismas condiciones de temperatura, en este ciclo surgen problemas en los procesos de compresión y expansión.

El COP mayor que podemos obtener es el COP de Carnot, cuanto más se acerque el coeficiente real a el coeficiente de Carnot más eficiente será. [10]

$$\text{COP CARNOT} = \frac{1}{\frac{T_{\text{cond.}}(\text{K})}{T_{\text{eva}}(\text{K})} - 1}$$

Ciclo IDEAL de refrigeración por compresión de vapor (Reversible).

Muchos aspectos no funcionales asociados con el ciclo invertido de Carnot, se eliminan haciendo que el fluido de trabajo (fluido refrigerante) solo esté en la fase de vapor en la evaporación previa a la compresión, y sustituyendo la turbina en la que se expande el refrigerante por un dispositivo más económico y que no requiera tanto mantenimiento, como una válvula de expansión.

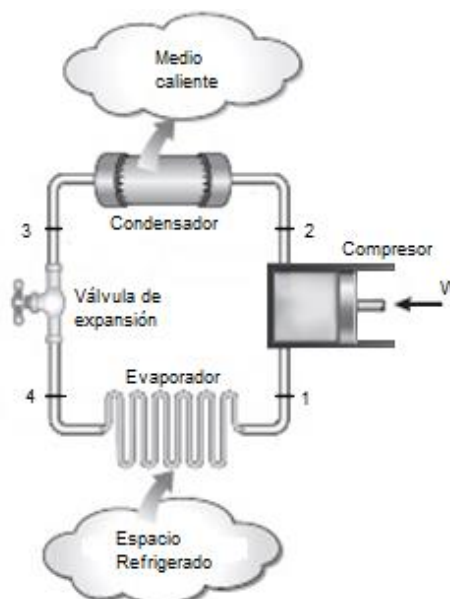


Figura 4.21: Ciclo ideal de refrigeración (Fuente: rsilvera.blogspot.com)

Se absorbe calor en el evaporador, para ello la temperatura de la cámara fría Q2 (habitación que debemos refrigerar) debe ser mayor que la del evaporador (siguiendo el segundo principio de la termodinámica (temperatura mayor a temperatura menor, Calor a Frio)

Por el paso por el compresor aumentamos la presión y la temperatura mediante una transformación isoentrópica.

Por el paso en el condensador, se cede calor (Q foco frio), la temperatura del condensador será mayor que la del medio que queremos refrigerar.

Por ultimo a su paso por la válvula de expansión se disminuye la presión y la temperatura mediante una transformación isoentálpica.

$$COP = \frac{Q_{\text{evaporador}}}{W_{\text{compresor}}}$$

Cuanto mayor sea el calor del evaporador y menor el trabajo de compresión, será más eficiente.

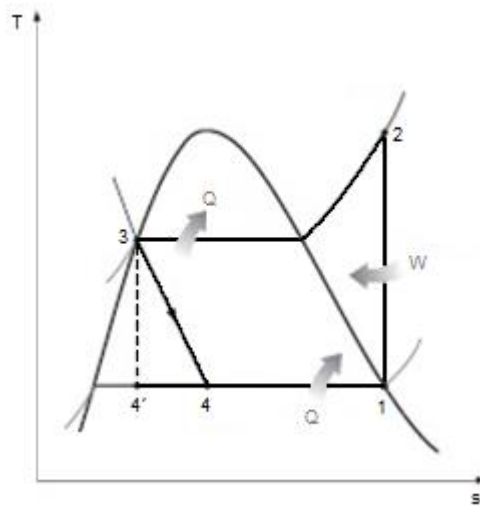


Figura 4.22: Diagrama de ciclo ideal de refrigeración (Fuente: rsilvera.blogspot.com)

Ciclo REAL de refrigeración por compresión de vapor.

En los ciclos reales de refrigeración por compresión, las transformaciones termodinámicas no son exactas, cuenta con algunas irreversibilidades.

La fricción que ejercen los elementos que componen el compresor y el fluido refrigerante hace que la entropía no sea contante, para ello aproximamos esta entropía mediante un rendimiento del compresor:

Rendimiento de compresor:

$$\text{Rendimiento} = \frac{W_{\text{ideal}}}{W_{\text{real}}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

A la salida del condensador y entrada de la válvula, el fluido tiene que estar en estado líquido, por lo que debemos subenfriar el fluido a la salida del condensador para aumentar el punto de líquido saturado y así garantizar que entre a la válvula en estado líquido.

En la válvula de expansión la entropía se puede considerar constante ya que su variación es mínima.

El fluido sale del evaporador en forma de vapor, aunque es imposible mantener en ese estado el fluido refrigerante, debemos sobrecalentar el fluido para aumentar el punto de vapor saturado y así asegurar que el refrigerante no entre en estado líquido al compresor, así garantizamos una evaporación completa del fluido.

Además, en la línea evaporador-compresor suelen producirse caídas de presión del refrigerante y cierta ganancia de calor no deseable, trayendo como resultado un aumento del volumen específico del refrigerante y un incremento en los requerimientos de potencia de entrada al compresor. [11]



Figura 4.23: Diagrama de refrigeración por compresión con irreversibilidades (Fuente: rsilvera.blogspot.com)

Ciclo de refrigeración por compresión de múltiples etapas

Cuando la diferencia de presiones entre la aspiración y el escape o la diferencia de temperaturas del condensador y el evaporador es muy grande, se producen lo siguiente:

1. El aumento de la temperatura de escape del compresor, generar descomposición del aceite lubricante, acortando la duración de la máquina.
2. Aumento de la relación de compresión (P_2/P_1) el rendimiento volumétrico del compresor disminuye, y disminuye la capacidad frigorífica.
3. A medida que nos adentramos a vapor sobrecalentado, se produce una inclinación mayor de las líneas de entropía. Al aumentar la relación de compresión implica un incremento de la potencia en el compresor.

A partir de ciertos límites resulta más económico utilizar un ciclo de compresión múltiple (directo) y ciclos de compresión en cascada (indirecto).

Ciclo de compresión múltiple (Directo)

Si se desea reducir el trabajo en el compresor, podemos realizar el ciclo de compresión múltiple (Directo), de refrigeración inmediata, se utiliza el mismo refrigerante, en muchos puntos del ciclo la temperatura del refrigerante es inferior a la temperatura ambiente.

Por tanto, el intercambiador de calor que funciona como refrigerador intermedio, se convierte en intercambiador regenerativo, ya que el calor se transfiere de forma interna en el sistema.

La temperatura final del vapor en el ciclo disminuye respecto a la del ciclo simple. [12]

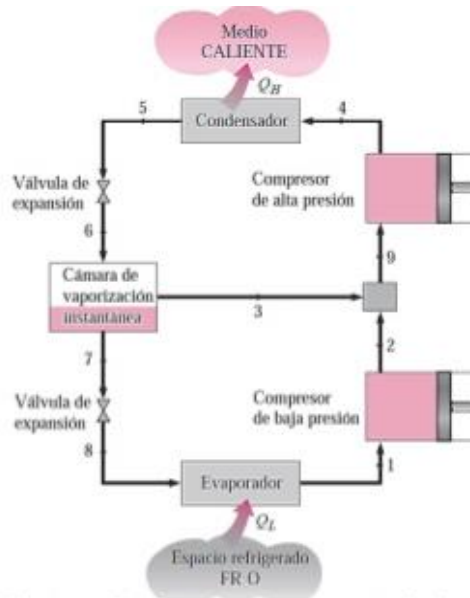


Figura 4.24: Refrigeración por compresión múltiple (Fuente: slideshare.com)

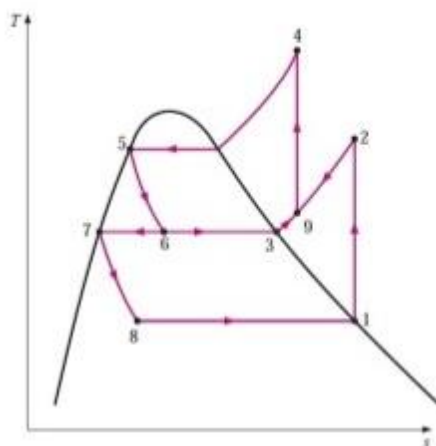


Figura 4.25: Diagrama de refrigeración por compresión múltiple (Fuente: slideshare.com)

Ciclo de refrigeración en cascada (Indirecto)

El ciclo en cascada es un conjunto de ciclos de compresión de vapor simple en serie, de manera que el condensador de un ciclo de temperatura inferior, proporciona calor al evaporador de un ciclo de mayor temperatura.

El refrigerante es diferente en cada circuito.

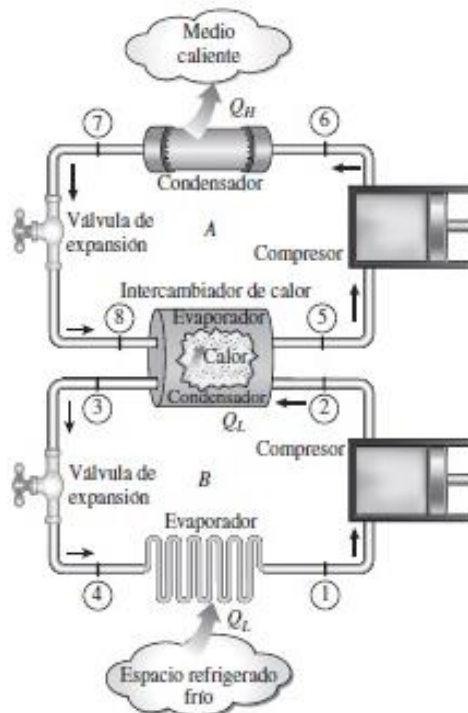


Figura 4.26: Esquema del sistema de refrigeración por compresión en cascada.
(Fuente: www.refrogeracion-blogspot.com)

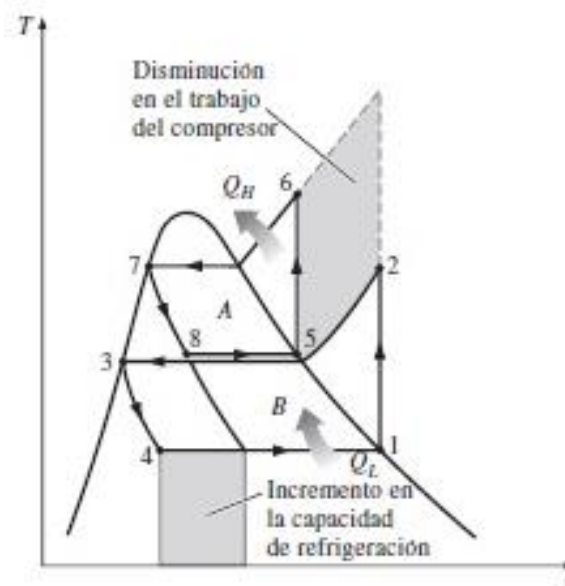


Figura 4.27: Diagrama del sistema de refrigeración por compresión en cascada.
(Fuente: www.refrogeracion-blogspot.com)

4.5.1.2. Refrigeración por absorción

El ciclo necesita calor a alta temperatura (producido en el generador), para obtener un efecto refrigerante a baja temperatura (en el evaporador). Se extrae como residuo el calor a media temperatura (absorbedor y condensador).

Se emplea una mezcla de dos componentes:

- Refrigerante.
- Absorbente.

Ventajas

- El coste de un sistema de absorción es bajo si el calor es residual.
- Apenas tienen partes móviles.
- No generan vibraciones.
- No generan ruidos.
- Coste de mantenimiento reducido.

Funcionamiento de la máquina de absorción

Generador - Al generador se le aporta una mezcla líquida de refrigerante y absorbente. Aportando calor externo (Q_G) necesario para evaporar el refrigerante. Del generador sale por una parte:

- Refrigerante en forma de vapor, hacia el condensador.
- Absorbente en estado líquido, hacia el absorbedor.

Condensador - El refrigerante en forma de vapor se licúa, por lo que es necesaria una refrigeración externa, que vuelve a condensar el refrigerante. A la salida, el refrigerante se dirige (en estado líquido) a la válvula de expansión lo que hace disminuir la presión y la temperatura.

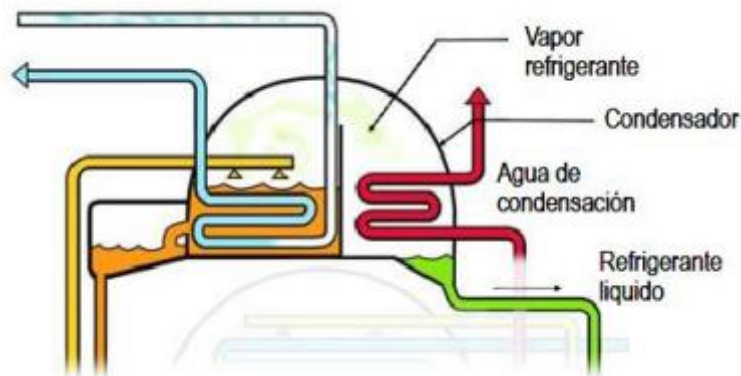


Figura 4.28: Elemento condensador (Fuente: www.bibling.us.es)

Evaporador - Posteriormente entra en el evaporador donde se evapora a baja presión, produciendo frío, para continuar su camino hacia el absorbedor. Se extrae el calor Q_e .

Absorbedor - Se mezcla el refrigerante en forma de vapor con el absorbente, produciéndose una reacción exotérmica (reacción química que desprende energía, en forma de calor, una variación negativa de entalpía), que hace necesaria una refrigeración externa, para no aumentar la presión.

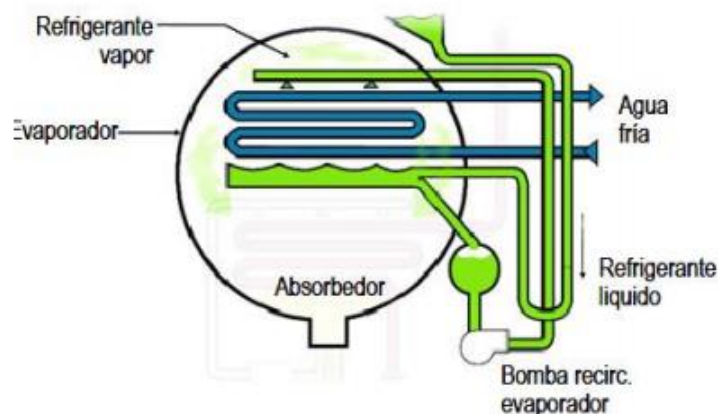


Figura 4.29: Elemento absorbedor (Fuente: www.bibling.us.es)

Finalmente la mezcla Refrigerante + Absorbente vuelve a iniciar el ciclo, por lo que se necesita una bomba que aumente la presión (elemento que constituye la única parte móvil del sistema).

Las máquinas de absorción simple suelen tener dos partes independientes (algunos fabricantes los colocan en la misma carcasa):

- Generador-Condensador.
- Evaporador-Absorbedor.

Las mezclas Refrigerante-Absorbente más utilizadas son:

- LiBr-H₂O:
- NH₃- H₂O: (Más Caro)

Es necesario un rectificador entre el generador y el condensador, haciendo que salga totalmente en estado gaseoso. [13]

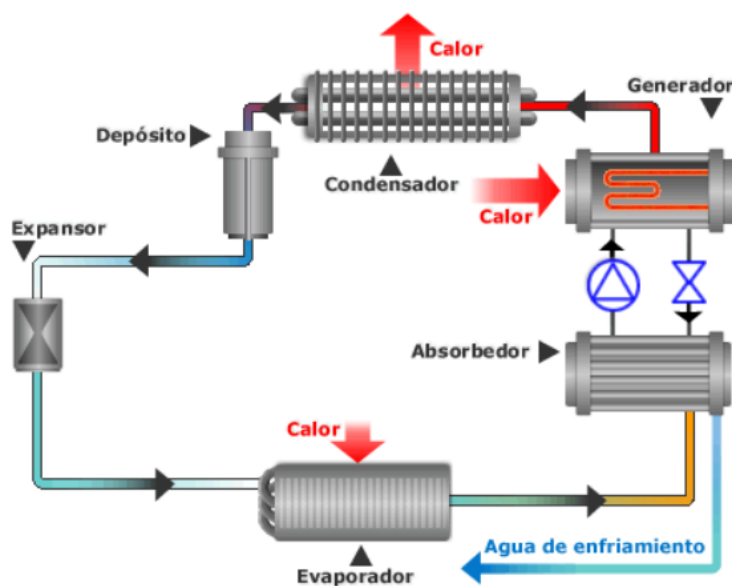


Figura 4.30: Refrigeración por absorción de simple efecto (Fuente: www.refrisoluciones.blogspot.com)

5. DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DEPORTIVO

Para la construcción del centro deportivo se debe garantizar una temperatura, humedad y calidad del aire óptimas.

El centro deportivo será una construcción provista con los medios necesarios para desarrollar la práctica de varios deportes, este centro cuenta con una superficie total construida de 1.128 m², repartidos en dos plantas, en las cuales se encuentran dos vestuarios, una cafetería, un circuito hidrotermal con piscina climatizada, y varias zonas destinadas para diferentes actividades deportivas, tales como el entrenamiento de core, la musculación, zona cardiovascular o de peso libre, cada planta del centro tiene una altura de 3,5 metros.

El material empleado para la construcción es vidrio laminado de diferentes colores, una estructura translúcida, este material fue escogido con la finalidad de aprovechar al máximo la luminosidad.

El vidrio laminado ofrece una serie de ventajas al ser utilizado en la construcción:

- La estructura es resistente.
- Gran luminosidad.
- Aislamiento térmico.
- Aislamiento acústico.

Salas de centro deportivo en la planta baja:

Vestíbulo – Acceso principal al centro deportivo

Cafetería o zona de descanso – Establecimiento para los clientes del centro deportivo, sirve como lugar de descanso y centro de reuniones, dispuesto con sofás y máquinas dispensadoras.

Sala de calderas – Pequeña sala donde se encuentras dos calderas mixtas de condensación.

Circuito hidrotermal - Sala donde se encuentra la piscina climatizada.

Vestuario - Existen 2 vestuarios, de iguales dimensiones, destinado uno para hombres y otro para mujeres.

Teniendo en cuenta las características de las salas, en la siguiente tabla podemos observar las superficies de las diferentes zonas:

Tabla 5.1: Superficies de la planta baja.

Planta baja	
Zona	Superficie (m ²)
Vestibulo	70
Cafeteria	173
Sala de calderas	31
Vestuario 1	72
Vestuario 2	72
Piscina	318

Salas del centro deportivo en la primera planta:

Sala 1 - Sala deportiva número 1, denominada zona de musculación y de peso libre, en la cual se encontraran todos los materiales como rack o TRX, necesarios para realizar dichos ejercicios.

Sala 2 - Sala deportiva número 2, denominada zona de core, destinada para el entrenamiento del core, en dicha sala se impartirán las clases con un monitor para el entrenamiento de una forma eficiente.

Sala exterior – Sala destinada para entrenamientos de exterior, como calistenia, aprovechando el peso corporal para realizar el ejercicio y aprovechando la luz natural.

Cuarto de baño – Sala de uso mixto.

Despacho – Sala dispuesta con dos dispositivos informáticos para tramitar la documentación del gimnasio.

En la primera planta, se encuentran las salas cuya superficie se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 5.2: Superficies de la primera planta.

Primera planta	
Zona	Superficie (m ²)
Sala 1	95
Sala 2	70
Sala exterior	150
Despacho	38
Baño	39

Tabla 5.3: Superficie total del centro deportivo.

Planta	Superficie (m ²)
Planta baja	736
Primera planta	392
Superficie total	1.128

6. POSIBLES METODOLOGÍAS DE TRIGENERACIÓN

Para conseguir la demanda de energía eléctrica y energía térmica en forma de calor, se han seleccionado dos posibles metodologías:

- Ciclo Brayton, funciona con turbina de gas.



Figura 6.1: Turbina de gas (Fuente: www.laplace.us.es)

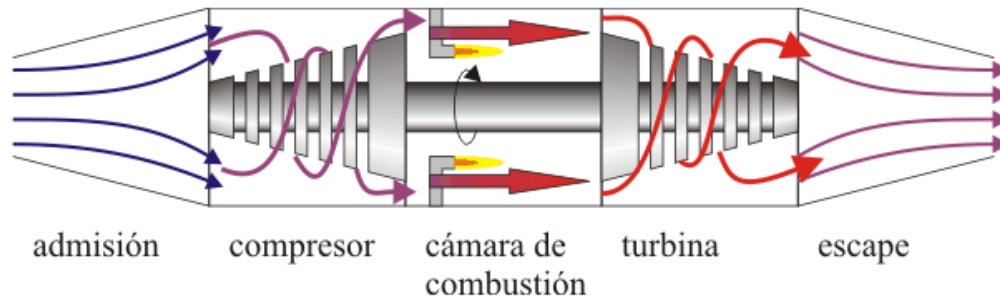


Figura 6.2: Partes del ciclo Brayton (Fuente: www.laplace.us.es)

Ventajas:

- Buena relación entre la potencia y su peso.
- Mayor disponibilidad y fiabilidad.
- Bajo coste de operación y construcción.
- Rápida puesta en servicio mediante un arranque rápido.
- Lo componen pocos elementos.
- Menos piezas en movimiento.
- Menores pérdidas por rozamiento
- Bajas emisiones.
- Funciona a bajas presiones.

Desventajas:

- Alta pérdida del calor al ambiente, alta temperatura de escape de los gases
- Una parte de la potencia generada por la turbina es demandada por el compresor axial.

- Ciclo Rankine, funciona con turbina de vapor.

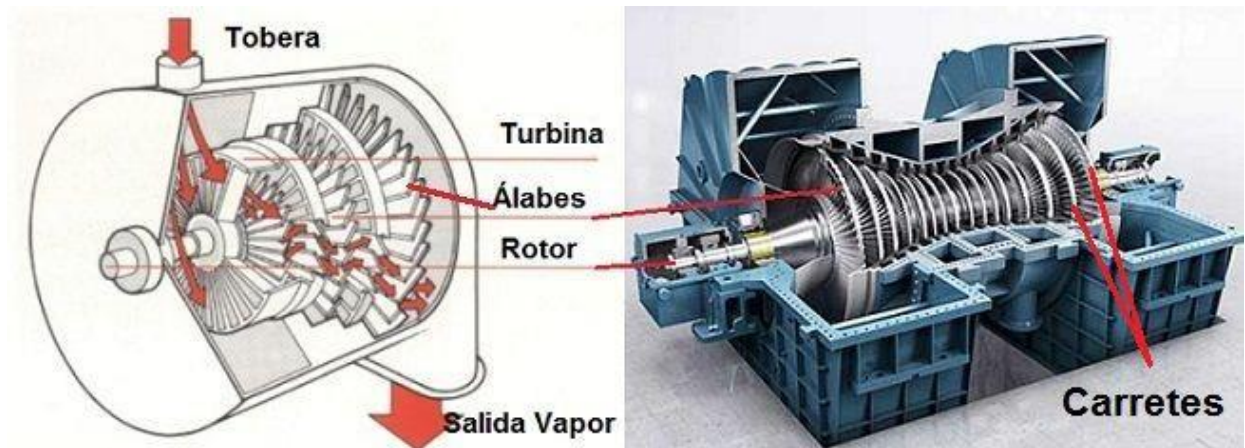


Figura 6.3: Turbina de vapor (Fuente: areatecnología.com)

Ventajas:

- Operación silenciosa y segura.
- Posibilidad de emplear cualquier combustible.
- Mantenimiento mínimo.
- Escape limpio.
- Buen rendimiento.
- Ciclo de vida largo.

Desventajas:

- Los álabes de la turbina e desgastan fácilmente.
- La excesiva humedad ocasiona erosión en los alabes de la turbina.
- No soporta altas temperaturas.
- El proceso de condensación tiene que controlarse con precisión.

Para conseguir la demanda de energía térmica en forma de frío también se han seleccionado dos posibles opciones:

- Refrigeración por máquina de absorción



Figura 6.4: Máquina de absorción (Fuente: www.factorrenovable.es)

Ventajas:

- Se ahorra energía primaria.
- Coste de operación y mantenimiento bajo.
- Puede trabajar a temperaturas bajo 0°C.

Desventajas:

- El nivel de ruido es más elevado.

- Refrigeración en cascada:

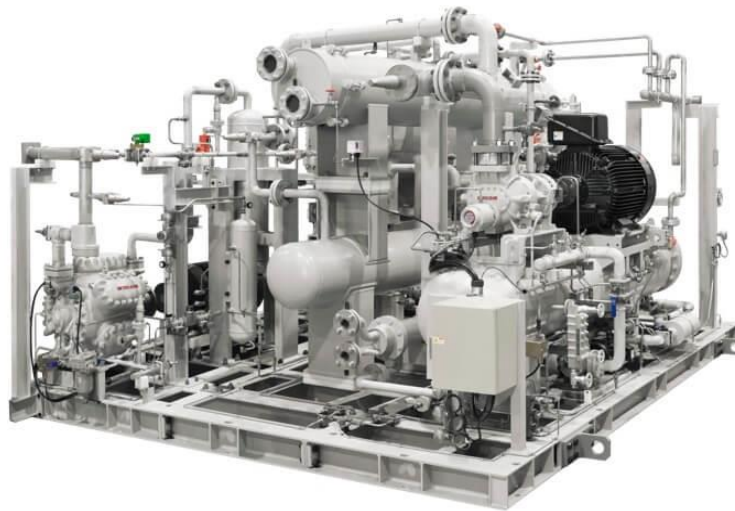


Figura 6.5: Refrigeración en cascada (Fuente: www.mayekawa.com)

Ventajas:

- Valores del COP elevados.
- Sistema más eficiente.

Desventajas:

- Pueden ocurrir trastornos en el funcionamiento, cierto porcentaje de humedad se puede solidificar.
- Es necesario un sistema de alivio, ya que mantener la instalación detenida puede dar lugar a fuertes presiones.

7. ESTUDIO DE LA SOLUCIÓN

Para realizar el estudio de la solución adoptada realizamos una matriz de decisión, dicha matriz es una herramienta que utilizamos para comparar las diferentes metodologías que se pueden instalar en el centro deportivo, y asignarlas una puntuación para comprobar cuál de ellas se adapta mejor a las necesidades del centro.

Lo primero que debemos realizar es una clasificación de los principales factores que debemos tener en cuenta y consideramos más importantes a la hora de realizar el sistema de trigeneración en el centro deportivo.

Los factores más importantes a considerar serán:

- El coste de adquisición y mantenimiento del sistema de trigeneración.
- Las emisiones de los gases.
- El nivel de ruido que genera la instalación.
- La fiabilidad y la vida útil del equipo.
- El rendimiento de la instalación.

Según las ventajas y desventajas vistas en el apartado anterior, para cada una de las propuestas, asignamos una puntuación, del 0 al 5 a los distintos factores, siendo un 5 la puntuación más favorable y 0 la más desfavorable.

Tabla 7.1: Matriz de decisión.

	Energía Eléctrica		Energía Térmica	
	Ciclo Brayton	Ciclo Rankine	Máquina Absorción	En Cascada
Coste de adquisición	3	3	4	3
Coste de mantenimiento	2	2	4	3
Emisiones	4	4	4	4
Ruido	3	3	2	4
Fiabilidad	3	3	4	2
Rendimiento	4	4	4	4
Total	19	19	22	20

Creamos la tabla con las diferentes puntuaciones, obteniendo la matriz de decisión, sumamos los puntos obtenidos en cada factor de los diferentes equipos y comprobamos cuál de ellos es el más adecuado para el sistema de trigeneración.

Los resultados obtenidos para la obtención de energía eléctrica mediante el ciclo Brayton (Gas) y el ciclo Rankine (Vapor) son similares, nos decantamos por utilizar un ciclo Brayton (turbina de gas).

Mientras que en los resultados obtenidos para la energía térmica, observamos que una refrigeración mediante la utilización de una máquina de absorción es la más adecuada.

El proceso de trigeneración del centro deportivo dependerá de un ciclo Brayton (turbina de gas) para obtener la energía eléctrica, aprovechando el calor residual que se produce para calentar el circuito de ACS y una máquina de absorción para la obtención del frío.

8. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS ELÉCTRICAS Y TÉRMICAS

Para poder estimar la demanda de energía eléctrica, debemos conocer las horas de luz natural disponibles, en la siguiente tabla, podemos observar en verde las horas de luz natural en función de los meses del año.

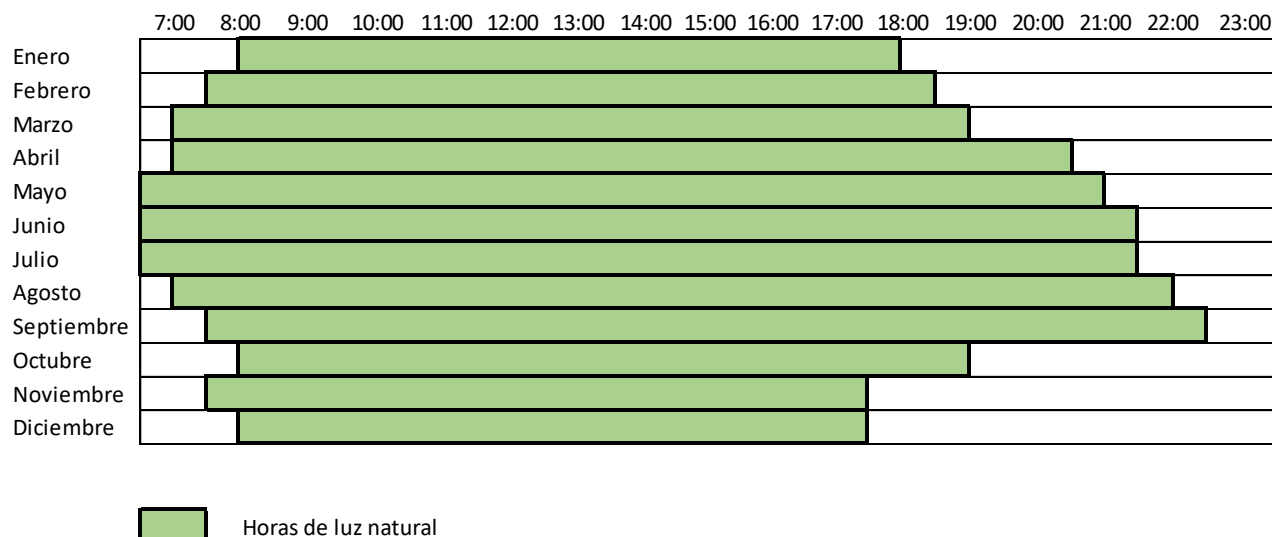


Figura 8.1: Horas de luz natural

Comprobamos que los meses de verano (junio, julio, agosto) los días son más largos, es decir, tenemos más horas de luz natural, y los meses de invierno los días son más cortos, esto se debe a la inclinación de la tierra en el eje norte sur durante estos meses, debido la órbita ovalada de la tierra.

Los meses de invierno la iluminación del centro deportivo se encenderá antes y se apagará más tarde mientras que los meses restantes se necesitarán menos horas de luz artificial.

El centro deportivo tiene un horario de 8:00 a 23:00 independientemente el día del año, en la siguiente tabla mostramos en azul las horas necesarias de luz artificial, aumentando las horas en los meses de invierno.

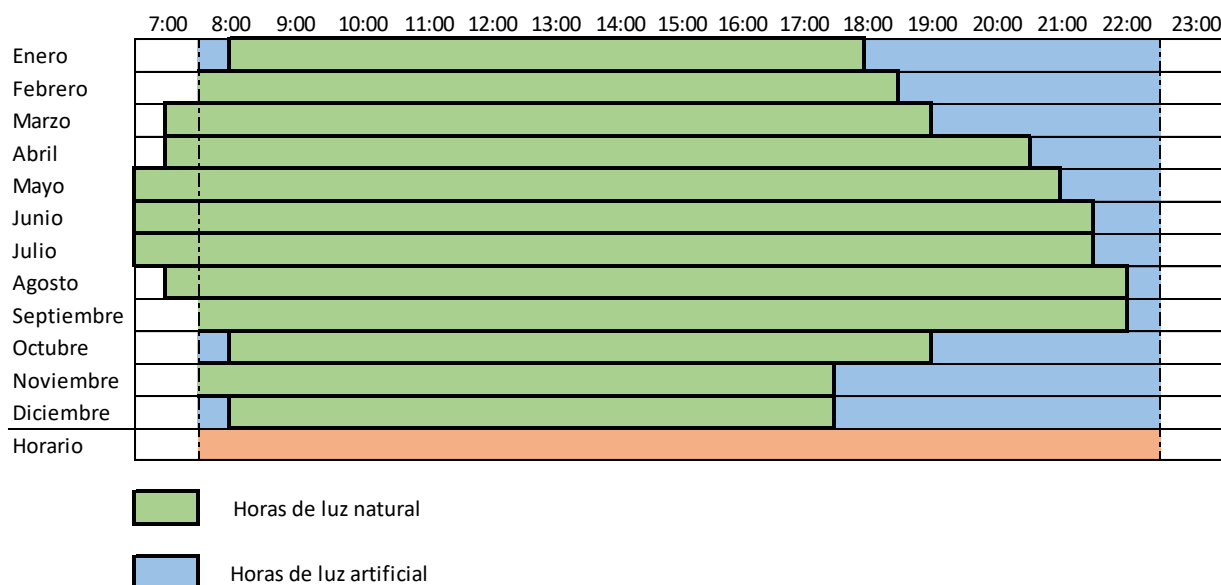


Figura 8.2: Horas de luz natural y luz artificial del centro deportivo.

Tabla 8.1: Horas diarias de luz artificial dependiendo del mes.

Meses del año	Luz artificial (horas)
Enero	6
Febrero	5
Marzo	4,5
Abril	3
Mayo	3
Junio	3
Julio	3
Agosto	3
Septiembre	3
Octubre	5
Noviembre	6
Diciembre	6

En primer lugar calcularemos las cargas eléctricas correspondientes a la iluminación, estimaremos el número total de puntos de luz necesarios dependiendo de los metros cuadrados de cada estancia para iluminar el centro deportivo. A continuación calcularemos la potencia total de los puntos de luz, si cada punto de luz consume 10 W, según fabricante de iluminación LED.

Tabla 8.1: Puntos de luz necesarios en la planta baja.

Planta baja		
Zona	Puntos de luz	Wattios
Vestibulo	30	300
Cafeteria	60	600
Sala de calderas	10	100
Vestuario 1	22	220
Vestuario 2	22	220
Piscina	95	950
TOTAL	239	2.390

Tabla 8.3: Puntos de luz necesarios en la primera planta.

Primera planta		
Zona	Puntos de luz	Wattios
Sala 1	30	300
Sala 2	30	300
Sala exterior	10	100
Despacho	15	150
Baño	15	150
TOTAL	100	1.000

Tabla 8.4: Puntos de luz necesarios en el centro deportivo.

Planta	Puntos de luz	Wattios
Baja	239	2.390
Primera	100	1.000
TOTAL	339	3.390

En el centro deportivo son necesarios 339 puntos de luz, lo que supone una potencia total de 3390 W.

Calculamos la potencia eléctrica generada por los elementos eléctricos existentes en el centro deportivo.

Tabla 8.5: Potencia total de otros elementos.

Elementos	Unidades	Potencia unitaria (W)	Potencia total (W)
ordenador	3	310	930
fotocopiadora	2	1.000	2.000
secador	8	920	7.360
Maquinaria Piscina	1	9.000	9.000
Mquinaria Gimnasio	1	9.000	9.000
Cocina	1	6.000	6.000
TOTAL	16	26.230	34.290

El centro deportivo puede sufrir diferentes situaciones en el año, a veces necesita aporte de calor, denominada situación de invierno y otras veces necesitará aporte de refrigeración, denominada situación de verano. Estas situaciones no se tienen porque dar en dichas estaciones, es posible que en invierno, la carga térmica del interior del centro supere las pérdidas de calor, debido a la gran actividad física o a los diferentes elementos eléctricos, que generan calor, y necesite refrigeración, aunque la temperatura del exterior sea fría.

Para poder refrigerar el centro deportivo, es necesaria una máquina enfriadora de compresión, en la situación convencional, mientras que en la situación de trigeneración utilizaremos una máquina de absorción.

Para conseguir la **refrigeración** del centro, en la situación denominada de **verano**, debemos extraer las calorías, para ello, calculamos las diferentes aportaciones de calor por diferentes causas:

- Calor por transmisión, a través de las paredes del centro.
- Calor sensible y latente por ventilación.
- Calor de la radiación solar a través de la estructura de vidrio.
- Calor por ocupación, debido a las personas que se encuentran en el centro.
- Calor mediante elementos eléctricos.

Para conseguir la **calefacción** del centro, en la situación denominada de **invierno**, debemos aportar calor, calculado por diferentes causas:

- Pérdidas por transmisión, a través de las paredes del centro.
- Pérdidas sensible por ventilación.

Calculo de calor sensible aportado por transmisión

Para calcular el calor aportado por transmisión, utilizamos la siguiente formula:

$$\text{Calor sensible por transmisión: } Q_t = S_t \cdot k_t \cdot \Delta T \text{ [14]}$$

- S_t , superficie de transmisión (m^2)
- K_t , coeficiente de transmisión o transmitancia térmica ($W/m^2\text{°C}$)
- ΔT , diferencia de temperaturas. ($^{\circ}\text{C}$)

Lo primero que realizamos es una tabla, identificando las superficies de las paredes del centro deportivo, las que dan al exterior y otras que dan al interior, diferenciando las paredes de ladrillo y las superficies de vidrio.

Tabla 8.6: Superficie de transmisión

Salas	superficie interior (m^2)		superficie exterior (m^2)		
	techo + suelo	Pared interior	Pared exterior	Doble cristal	Ventana
Cafeteria	360,00	59,50	0,00	119,50	10,00
Vestibulo	144,00	105,00	17,00	0,00	4,00
Piscina	636,00	59,50	179,50	0,00	20,00
Vestuario 1	144,00	92,20	22,20	0,00	10,00
Vestuario 2	144,00	92,20	22,20	0,00	10,00
Sala Caldera	62,00	54,00	17,00	0,00	4,00
Sala 1	190,00	73,40	0,00	53,40	20,00
Sala 2	140,00	47,90	0,00	63,50	20,00
Despacho	76,00	45,69	0,00	35,69	10,00
Baño	78,00	45,69	0,00	41,69	4,00
Escaleras	33,00	61,60	0,00	26,60	10,00

El siguiente valor a especificar es el coeficiente de transmisión k , que según la “Guía para el cálculo de las cargas térmicas en edificios” para cada tipo de material utilizado tiene unos valores comprendidos entre:

Tabla 8.7: Coeficiente de transmisión ($W/m^2\text{°C}$)

	Coeficiente K ($W/m^2\text{°C}$)
Suelo Techo	1,20
Pared interior	2,00
Pared exterior	1,52
Cristal doble	1,62
Ventana	5,80

Para calcular la diferencia de temperaturas, obtenemos la temperatura exterior, más desfavorable, en cada caso, en la agencia estatal de meteorología.

La temperatura exterior máxima es de $25,8^{\circ}\text{C}$, para la situación de verano y la temperatura exterior mínima es de $1,8^{\circ}\text{C}$, para la situación de invierno. [15]

La temperatura y humedad del interior del centro deportivo tendrán unos valores, según las condiciones del diseño, indicados en el Reglamento de instalaciones térmicas en edificios (RITE).

Tabla 8.8: Condiciones interiores de diseño (RITE)

Estación	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Humedad relativa (%)
Verano	23-25	45-60
Invierno	21-23	40-50

Con los datos obtenidos realizamos la multiplicación de los tres factores, para calcular el calor por transmisión en el centro deportivo, en la situación de calefacción y en la de refrigeración.

Tabla 8.9: Calor por transmisión del centro deportivo en verano.

Salas	Calor sensible transmisión (W)				
	techo + suelo	Pared interior	Pared exterior	Doble cristal	Ventana
Cafeteria	1.857,60	511,70	0,00	1.964,55	588,58
Vestibulo	743,04	903,00	262,22	0,00	235,43
Piscina	3.281,76	511,70	2.768,78	0,00	1.177,17
Vestuario 1	743,04	792,92	342,43	0,00	588,58
Vestuario 2	743,04	792,92	342,43	0,00	588,58
Sala generacion de energia	319,92	464,40	262,22	0,00	235,43
Sala 1	980,40	631,24	0,00	877,88	1.177,17
Sala 2	722,40	411,94	0,00	1.043,92	1.177,17
Despacho	392,16	392,93	0,00	586,74	588,58
Baño	402,48	392,93	0,00	685,37	235,43
Escaleras	170,28	529,76	0,00	437,30	588,58

Qt verano= 33,45 Kw

Tabla 8.10: Calor por transmisión del centro deportivo en invierno.

Salas	Calor sensible transmisión (W)				
	techo + suelo	Pared interior	Pared exterior	Doble cristal	Ventana
Cafeteria	1.857,60	511,70	0,00	3.096,67	927,77
Vestibulo	743,04	903,00	413,34	0,00	371,11
Piscina	3.281,76	511,70	4.364,35	0,00	1.855,54
Vestuario 1	743,04	792,92	539,77	0,00	927,77
Vestuario 2	743,04	792,92	539,77	0,00	927,77
Sala generacion de energia	319,92	464,40	413,34	0,00	371,11
Sala 1	980,40	631,24	0,00	1.383,78	1.855,54
Sala 2	722,40	411,94	0,00	1.645,51	1.855,54
Despacho	392,16	392,93	0,00	924,85	927,77
Baño	402,48	392,93	0,00	1.080,33	371,11
Escaleras	170,28	529,76	0,00	689,30	927,77

Qt invierno= 43,10 kW

Calculo de calor sensible y latente aportado por ventilación

Para calcular el calor aportado y perdido por ventilación, utilizamos la siguiente formula:

Calor sensible por ventilación: $Q_{sv} = 0.34 * Q * \Delta T$ [16]

- Calor específico del aire 0,34 (Wh/m³°C).
- Q, caudal (m³/h).
- ΔT , diferencia de temperaturas (°C).

Calor latente por ventilación: $Q_{lv} = \rho * C_l * Q * \Delta w$ [17]

- ρ , densidad del aire. (1,2 Kg/m³).
- C_l , Calor latente de vaporización de agua. (0,52 Wh/g).
- Q, caudal. (m³/h).
- Δw , diferencia de humedad absoluta. (g/Kg).

Calor aportado; **$Q_{sv} + Q_{lv}$**

Calor perdido; **Q_{sv}**

Tabla 8.11: Calor sensible y latente aportado por ventilación.

	Sensible (kW)	Latente (KW)
Verano	42,48	45,00
Invierno	66,96	0,00

Calculo de calor sensible aportado por radiación

La radiación solar atraviesa superficies translucidas y se calcula con la siguiente fórmula

$$\text{Calor sensible por radiación: } Q_r = S_r \cdot R \cdot F \text{ [18]}$$

- S_r , superficie de transmisión (m²).
- R , Radiación solar (W/m²).
- F , factor de corrección según el tipo de vidrio.

Tabla 8.12: Radiación solar máxima según la orientación (Fuente: Manual Carrier).

Latitud Norte	Mes	Orientación								
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horiz.
		Máximas aportaciones solares R (W / m2)								
30°	Junio	63	437	506	283	66	283	506	437	786
	Julio y Mayo	50	412	515	314	94	314	515	412	774
	Agosto y Abril	34	339	519	405	197	405	519	339	739
	Sept.y Marzo	28	283	496	478	329	478	496	283	666
	Oct. y Febrero	24	122	425	513	456	513	425	122	563
	Nov. y Enero	22	50	364	509	500	509	364	50	456
	Diciembre	19	37	329	509	513	509	329	37	412
40°	Junio	53	418	509	349	169	349	509	418	745
	Julio y Mayo	46	399	515	393	217	393	515	399	732
	Agosto y Abril	34	320	509	458	320	459	509	320	673
	Sept.y Marzo	28	182	469	509	440	509	469	182	575
	Oct. y Febrero	22	109	383	513	509	513	383	109	405
	Nov. y Enero	15	37	314	491	522	491	314	37	324
	Diciembre	15	31	270	465	519	465	270	31	267

Tabla 8.13: Factor solar (Fuente: Saint-Gobain Glass).

	U W/m ² ·K	g
Vidrio doble 4/16/4	2,60	0,78
Vidrio triple 4/10/4/10/4	1,80	0,70
Vidrio bajo emisorio 4/16/4	1,10	0,60
Vidrio bajo emisorio y control solar 4/16/4	1,10	0,40

Tabla 8.14: Calor sensible aportado por radiación

Orientación	Superficie (m ²)	Radiación max (W/m ²)	Factor de corrección	Q _r (W)
Norte	199,54	63,00	0,70	8.799,71
Este	133,15	519,00	0,70	48.373,40
Sur	95,69	522,00	0,70	34.965,13
Oeste	34,00	519,00	0,70	12.352,20
				104.490,44

$$Q_r \text{ verano} = 104,49 \text{ kW}$$

Calculo de calor latente y sensible por ocupación

La expresión para calcular el calor latente por ocupación es la siguiente:

$$\text{Calor latente por ocupación: } Q_o = n * C_{\text{latente}} [19]$$

- n , número de personas que se esperan en el centro deportivo.
- C_{latente} , calor latente que desprende cada persona.

Tabla 8.15: Calor sensible y latente por cada persona (fuente: nerguiza).

Actividad	C. Sensible (W)	C. Latente (W)
Sentado	58	44
De pie, paseando	58	70
Comiendo	64	93
Baile moderado	70	174
Marcha rápida	87	204

Tabla 8.16: Calor sensible y latente aportado por ocupación.

Actividad	Número de personas	Q sensible (w)	Q latente (W)
Marcha rápida	150	13.050,00	36.000,00

$$Q_o \text{ verano} = 13.05 + 36 = 49,05 \text{ kW}$$

Calculo de calor sensible aportado por otros equipos:

Para el cálculo de la carga térmica aportada por otros equipos presentes en el centro deportivo, se realiza una estimación de los watios que se consumen por m², sacado el valor de las tablas de cargas par uso no convencional, teniendo 4.5W/m²

$$\text{Calor sensible por otros equipos: } Q_e = S * P$$

- S , Superficie total del centro deportivo.
- P , Coeficiente de carga por m² = 4,5 W/m².

$$Q_e = S * P; \quad Q_e = 1200 * 4.5; \quad Q_e = 5400 \text{ W}$$

$$Q_e \text{ verano} = 5,4 \text{ kW}$$

Tabla 8.17: Potencia térmica desglosada.

		Calor sensible (kW)	Calor latente (kW)
Refrigeración	Transmisión	33,45	0,00
	Radiación	104,49	0,00
	Ocupación	13,05	36,00
	Ventilación	42,48	45,00
	Otros equipos	5,40	0,00
	TOTAL (kW)	198,87	81,00
Calefacción	Transmisión	43,10	0,00
	Ventilación	66,96	0,00
	TOTAL (kW)	110,06	0,00

Tabla 8.18: Potencia térmica total.

	TOTAL (kW)	W/m ²
Refrigeración	279,87	248,11
Calefacción	110,06	97,57

Tenemos que tener en cuenta que las calderas no funcionan al 100% durante sus horas de funcionamiento. Lo que hacemos es dividir las horas en las que está abierto el centro deportivo en diferentes periodos, el horario del centro deportivo es de 8:00 de la mañana a 23:00 de la noche, está abierto 15 horas, lo dividimos en 3 periodos de 5 horas cada uno.

Periodo 1: de 8:00 a 13:00

Periodo 2: de 13:00 a 18:00

Periodo 3: de 18:00 a 23:00

Para estimar el porcentaje al que funciona realizamos una estimación de la afluencia de gente que coincide en el centro en cada periodo del día, así diferenciamos el consumo de cada mes en grupos.

Tabla 8.19: Porcentaje de carga al que funciona la calefacción en cada periodo.

Mes	Calefacción		
	8:00-13:00	13:00-18:00	18:00-23:00
Enero	100%	70%	70%
Febrero	100%	70%	70%
Marzo	100%	70%	60%
Abril	70%	50%	60%
Mayo	40%	10%	30%
Junio	0%	0%	0%
Julio	0%	0%	0%
Agosto	0%	0%	0%
Septiembre	10%	0%	10%
Octubre	40%	20%	40%
Noviembre	60%	45%	50%
Diciembre	100%	80%	60%

Tabla 8.20: Porcentaje de carga al que funciona la refrigeración en cada periodo.

Mes	Refrigeración		
	8:00-13:00	13:00-18:00	18:00-23:00
Enero	10%	20%	20%
Febrero	20%	30%	30%
Marzo	30%	40%	50%
Abril	30%	60%	80%
Mayo	40%	60%	90%
Junio	40%	60%	95%
Julio	40%	70%	95%
Agosto	50%	80%	95%
Septiembre	40%	60%	90%
Octubre	30%	40%	70%
Noviembre	20%	30%	30%
Diciembre	10%	20%	20%

Para calcular la potencia de calefacción necesaria en cada periodo, debido a que no funciona a plena carga, lo multiplicamos por el porcentaje de carga necesario en cada tramo.

Tabla 8.21: Potencia de calefacción necesaria en cada periodo.

Mes	Potencia Calefacción (kW)		
	8:00-13:00	13:00-18:00	18:00-23:00
Enero	110,06	77,04	77,04
Febrero	110,06	77,04	77,04
Marzo	110,06	77,04	66,04
Abril	77,04	55,03	66,04
Mayo	44,02	11,01	33,02
Junio	0,00	0,00	0,00
Julio	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00	0,00
Septiembre	11,01	0,00	11,01
Octubre	44,02	22,01	44,02
Noviembre	66,04	49,53	55,03
Diciembre	110,06	88,05	66,04

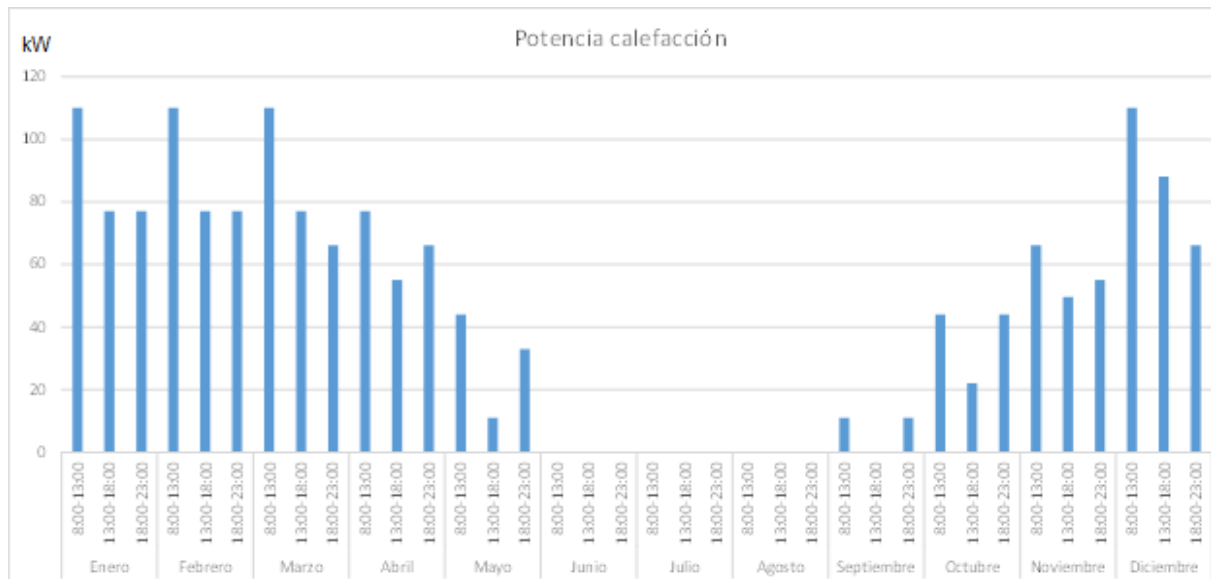


Figura 8.3: Potencia de calefacción necesaria en cada periodo.

Para realizar el cálculo de la energía de calefacción en el centro deportivo, debemos multiplicar la potencia de calefacción anteriormente calculada para cada tramo por las horas de funcionamiento de cada periodo.

Tabla 8.22: Energía de calefacción consumida al mes en cada periodo.

Mes	Energía Calefacción (kWh)		
	8:00-13:00	13:00-18:00	18:00-23:00
Enero	16.509,20	11.556,44	11.556,44
Febrero	16.509,20	11.556,44	11.556,44
Marzo	16.509,20	11.556,44	9.905,52
Abril	11.556,44	8.254,60	9.905,52
Mayo	6.603,68	1.650,92	4.952,76
Junio	0,00	0,00	0,00
Julio	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00	0,00
Septiembre	1.650,92	0,00	1.650,92
Octubre	6.603,68	3.301,84	6.603,68
Noviembre	9.905,52	7.429,14	8.254,60
Diciembre	16.509,20	13.207,36	9.905,52

Realizamos los mismos pasos para calcular la potencia necesaria para la refrigeración multiplicando la potencia térmica de refrigeración por el porcentaje de carga al que funciona.

Tabla 8.23: Potencia de refrigeración necesaria en cada periodo.

Mes	Potencia Refrigeración (kW)		
	8:00-13:00	13:00-18:00	18:00-23:00
Enero	27,99	55,97	55,97
Febrero	55,97	83,96	83,96
Marzo	83,96	111,95	139,94
Abril	83,96	167,92	223,90
Mayo	111,95	167,92	251,88
Junio	111,95	167,92	265,88
Julio	111,95	195,91	265,88
Agosto	139,94	223,90	265,88
Septiembre	111,95	167,92	251,88
Octubre	83,96	111,95	195,91
Noviembre	55,97	83,96	83,96
Diciembre	27,99	55,97	55,97

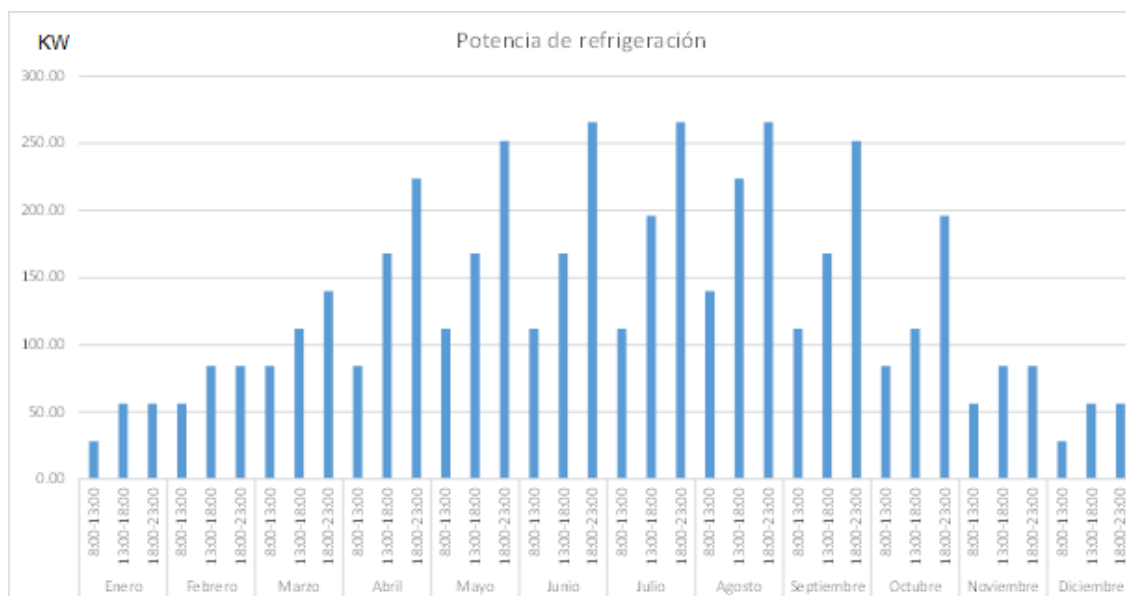


Figura 8.4: Potencia de refrigeración necesaria en cada periodo.

Realizamos el mismo cálculo anterior, esta vez para calcular la energía necesaria en la refrigeración que necesitamos en el centro deportivo, multiplicando por las horas de funcionamiento en cada periodo.

Tabla 8.24: Energía de refrigeración consumida al mes en cada periodo.

Mes	Energía Refrigeración (kWh)		
	8:00-13:00	13:00-18:00	18:00-23:00
Enero	4.198,00	8.396,00	8.396,00
Febrero	8.396,00	12.594,00	12.594,00
Marzo	12.594,00	16.792,00	20.989,99
Abril	12.594,00	25.187,99	33.583,99
Mayo	16.792,00	25.187,99	37.781,99
Junio	16.792,00	25.187,99	39.880,99
Julio	16.792,00	29.385,99	39.880,99
Agosto	20.989,99	33.583,99	39.880,99
Septiembre	16.792,00	25.187,99	37.781,99
Octubre	12.594,00	16.792,00	29.385,99
Noviembre	8.396,00	12.594,00	12.594,00
Diciembre	4.198,00	8.396,00	8.396,00

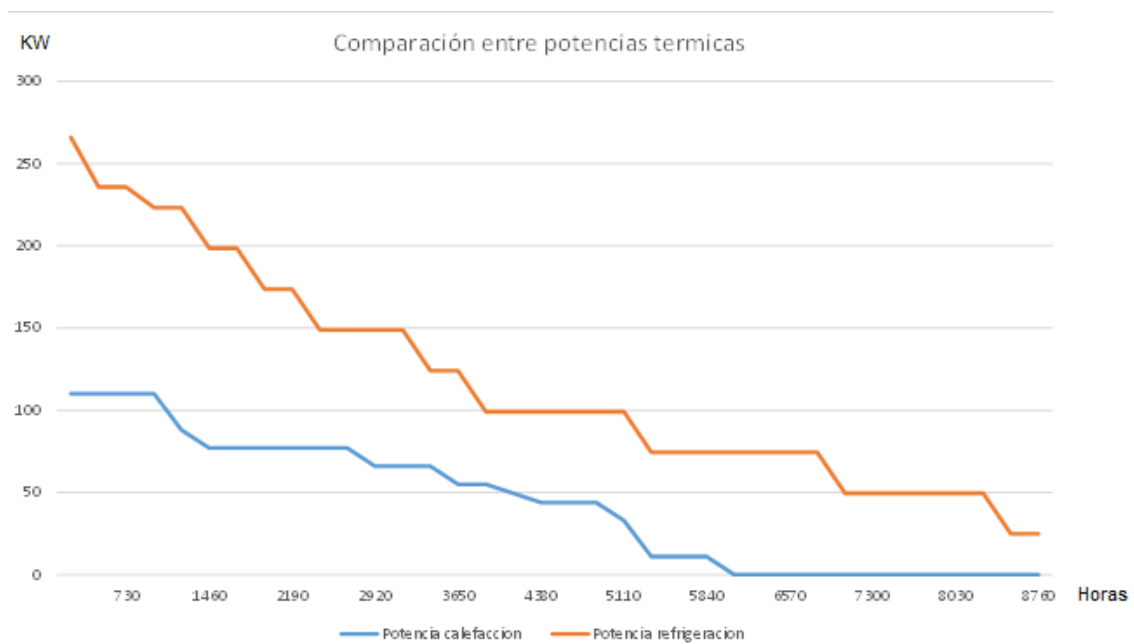


Figura 8.5: Comparación entre potencia de calefacción y refrigeración.

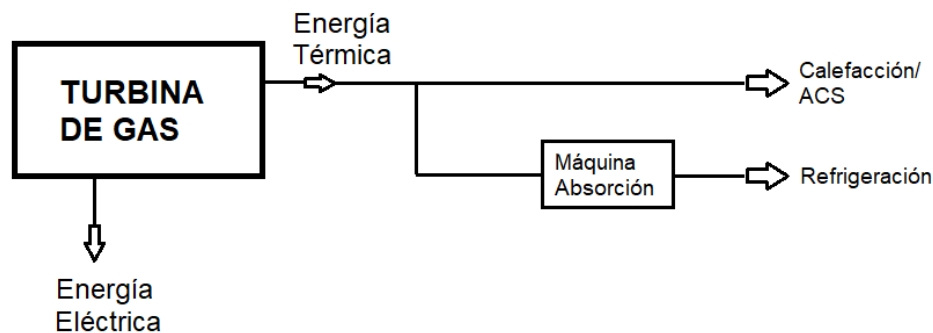


Figura 8.6: Esquema de funcionamiento de sistema de trigeneración.

Para poder saber la potencia a la que debe funcionar la turbina de gas, necesitamos conocer la potencia térmica total necesaria para suministrar la energía demandada por el centro deportivo, para ello calculamos la suma de la potencia de calefacción y la potencia de refrigeración, teniendo en cuenta el coeficiente de rendimiento (COP) es igual a 0.9 unidades [20], para máquinas de dichas características.



Figura 8.7: Potencia necesaria de la turbina para generar energía eléctrica y energía térmica.

Estimamos una potencia para la turbina de gas de 100kW, para que esté funcionando aproximadamente 2/3 del tiempo del año junto a calderas de apoyo ya instaladas en la situación convencional y el resto del tiempo utilizar únicamente la turbina de gas.

Para calcular la demanda de energía necesaria para el consumo de ACS en los vestuarios del centro deportivo, hacemos el mismo procedimiento anterior y dividimos cada mes del año en 3 periodos, y les asignamos un porcentaje dependiendo de la ocupación.

Periodo 1: de 8:00 a 13:00

Periodo 2: de 13:00 a 18:00

Periodo 3: de 18:00 a 23:00

Tabla 8.25: Porcentaje de carga al que funciona el ACS en los vestuarios.

Mes	ACS Duchas		
	8:00-13:00	13:00-18:00	18:00-23:00
Enero	50%	20%	10%
Febrero	50%	20%	10%
Marzo	50%	20%	10%
Abril	50%	20%	10%
Mayo	50%	20%	10%
Junio	50%	20%	10%
Julio	50%	20%	10%
Agosto	50%	20%	10%
Septiembre	50%	20%	10%
Octubre	50%	20%	10%
Noviembre	50%	20%	10%
Diciembre	50%	20%	10%

Para el cálculo de la demanda de ACS a 60°C se consideran como aceptables, los valores recogidos en la tabla c del anejo F “Demanda orientativa de ACS para usos distintos del residencial privado” en la cual se recoge que la demanda de ACS para el uso de vestuarios es de unos 21 l/persona al día.

Al calcular el consumo de agua caliente sanitaria (ACS), realizamos una estimación según la ocupación en el centro deportivo.

Según suelosolar.com la temperatura del agua de red en Santander es de 10°C en los meses de invierno y de 16°C en los meses de verano. [21]

$$\text{Energía ACS: } E = \rho \cdot v \cdot C_p \cdot \Delta T$$

- ρ , densidad del agua. (Kg/m³)
- V , Volumen de agua necesario. (m³)
- C_p , calor específico del agua. (KJ/Kg°C)
- ΔT , diferencia de temperaturas. (°C)

Tabla 8.26: Energía térmica de ACS consumida al mes en cada periodo.

Mes	Energía ACS Duchas (kWh)		
	8:00-13:00	13:00-18:00	18:00-23:00
Enero	503,63	201,45	100,73
Febrero	503,63	201,45	100,73
Marzo	503,63	201,45	100,73
Abril	503,63	201,45	100,73
Mayo	572,30	228,92	114,46
Junio	572,30	228,92	114,46
Julio	572,30	228,92	114,46
Agosto	572,30	228,92	114,46
Septiembre	572,30	228,92	114,46
Octubre	503,63	201,45	100,73
Noviembre	503,63	201,45	100,73
Diciembre	503,63	201,45	100,73

Para calcular la demanda de energía necesaria para el consumo de ACS en la piscina climatizada, volvemos a dividir cada mes del año en periodos, y les asignamos un porcentaje dependiendo de la ocupación.

Periodo 1: de 8:00 a 13:00

Periodo 2: de 13:00 a 18:00

Periodo 3: de 18:00 a 23:00

Tabla 8.27: Porcentaje de carga al que funciona el ACS de la piscina.

Mes	ACS Piscina		
	8:00-13:00	13:00-18:00	18:00-23:00
Enero	100%	80%	100%
Febrero	100%	80%	100%
Marzo	100%	80%	100%
Abril	100%	80%	100%
Mayo	100%	80%	100%
Junio	100%	80%	100%
Julio	100%	80%	100%
Agosto	100%	80%	100%
Septiembre	100%	80%	100%
Octubre	100%	80%	100%
Noviembre	100%	80%	100%
Diciembre	100%	80%	100%

Para calcular el consumo de agua caliente sanitaria de la piscina es necesario tener en cuenta:

- La renovación de agua, en función del volumen de la piscina
- Evaporación del agua de la piscina debido al calor.

Para calcular el flujo de agua que se evapora diariamente utilizamos la fórmula de Bernier.

$$\text{Formula de Bernier: } Me = s * [(16+133n) * (We - Ga * Was)] + 0,1 * N$$

- Me, flujo másico de agua evaporada (kg/h).
- s, superficie de la lámina de agua de la piscina (m²).
- We, humedad ab del aire saturado a la temperatura del agua de la piscina (kg ag/kg a).
- Was, humedad ab del aire saturado a la temperatura del aire ambiente interior (kg ag/kg a).
- Ga, grado de saturación.
- n, nº de nadadores por m².
- N = nº total personas.

Tabla 8.28: Energía térmica de ACS consumida al mes en cada periodo.

Mes	Energía ACS Piscina (kWh)		
	8:00-13:00	13:00-18:00	18:00-23:00
Enero	1.554,94	1.243,95	1.554,94
Febrero	1.554,94	1.243,95	1.554,94
Marzo	1.554,94	1.243,95	1.554,94
Abril	1.554,94	1.243,95	1.554,94
Mayo	1.554,94	1.243,95	1.554,94
Junio	1.554,94	1.243,95	1.554,94
Julio	1.554,94	1.243,95	1.554,94
Agosto	1.554,94	1.243,95	1.554,94
Septiembre	1.554,94	1.243,95	1.554,94
Octubre	1.554,94	1.243,95	1.554,94
Noviembre	1.554,94	1.243,95	1.554,94
Diciembre	1.554,94	1.243,95	1.554,94

9. SITUACIÓN CONVENCIONAL DEL CENTRO DEPORTIVO

La situación convencional, es una situación en la cual obtenemos la energía eléctrica conectada a una red de distribución, desde los proveedores hasta los consumidores y la energía térmica, en forma de calor, por medio de calderas de condensación mixtas, funcionando con gas natural, y en forma de frío, por medio de una enfriadora por compresión.

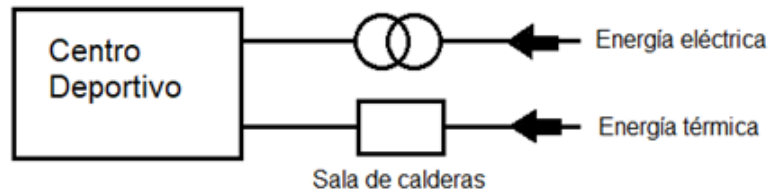


Figura 9.1: Funcionamiento convencional del centro deportivo.

Tabla 9.1: Energía térmica mensual en la situación convencional en cada periodo.

Mes	Situación convencional (kWh)		
	8:00-13:00	13:00-18:00	18:00-23:00
Enero	18.567,77	13.001,84	13.212,11
Febrero	18.567,77	13.001,84	13.212,11
Marzo	18.567,77	13.001,84	11.561,19
Abril	13.615,01	9.700,00	11.561,19
Mayo	8.730,93	3.123,79	6.622,16
Junio	2.127,24	1.472,87	1.669,40
Julio	2.127,24	1.472,87	1.669,40
Agosto	2.127,24	1.472,87	1.669,40
Septiembre	3.778,16	1.472,87	3.320,32
Octubre	8.662,25	4.747,24	8.259,35
Noviembre	11.964,09	8.874,54	9.910,27
Diciembre	18.567,77	14.652,76	11.561,19

Tabla 9.2: Energía térmica anual en la situación convencional.

Situación convencional	
Mes	kWh
Enero	44.781,72
Febrero	44.781,72
Marzo	43.130,80
Abril	34.876,20
Mayo	18.476,88
Junio	5.269,52
Julio	5.269,52
Agosto	5.269,52
Septiembre	8.571,36
Octubre	21.668,84
Noviembre	30.748,90
Diciembre	44.781,72
TOTAL	307.626,69

El consumo de energía eléctrica en la situación convencional lo obtenemos sumando el consumo de los puntos de luz, los consumos de los elementos eléctricos y la energía consumida por refrigeración mediante la enfriadora por compresión.

Tabla 9.3: Consumo mensual de los puntos de luz.

Meses del año	Horas	Potencia (W)	Consumo Diario (kWh/día)	Consumo Mensual (kWh/mes)
Enero	6	3.390	20,34	610,20
Febrero	5	3.390	16,95	508,50
Marzo	5	3.390	15,26	457,65
Abril	3	3.390	10,17	305,10
Mayo	3	3.390	10,17	305,10
Junio	3	3.390	10,17	305,10
Julio	3	3.390	10,17	305,10
Agosto	3	3.390	10,17	305,10
Septiembre	3	3.390	10,17	305,10
Octubre	5	3.390	16,95	508,50
Noviembre	6	3.390	20,34	610,20
Diciembre	6	3.390	20,34	610,20

Tabla 9.4: Consumo mensual de elementos eléctricos.

Elementos	Horas funcionamiento	Potencia total (W)	Consumo Mensual (kWh/mes)
ordenador	5	930	139,50
fotocopiadora	3	2.000	180,00
secador	4	7.360	883,20
Maquinaria Piscina	5	9.000	1.350,00
Maquinaria Gimnasio	6	8.500	1.530,00
Cocina	3	6.000	540,00
TOTAL			4.622,70

Tabla 9.5: Estimación mensual de la demanda eléctrica.

Meses del año	Puntos de LUZ (kWh/mes)	Elementos (kWh/mes)	Consumo total (kWh/mes)
Enero	610,20	4.622,70	5.232,90
Febrero	508,50	4.622,70	5.131,20
Marzo	457,65	4.622,70	5.080,35
Abril	305,10	4.622,70	4.927,80
Mayo	305,10	4.622,70	4.927,80
Junio	305,10	4.622,70	4.927,80
Julio	305,10	4.622,70	4.927,80
Agosto	305,10	4.622,70	4.927,80
Septiembre	305,10	4.622,70	4.927,80
Octubre	508,50	4.622,70	5.131,20
Noviembre	610,20	4.622,70	5.232,90
Diciembre	610,20	4.622,70	5.232,90
Consumo anual (kWh/año)			60.608,25

Para realizar el coste de la energía, estimamos los precios de la energía eléctrica a 0,1430 €/kWh y el coste de la compra de energía térmica es de 0,042 €/kWh. Estos precios los obtenemos realizando una media del coste de la energía en una comercializadora de mercado libre. [22]

Tabla 9.6: Coste de la demanda total en la situación convencional.

	Demanda (kWh)	Coste (€)
Eléctrica	851.231,37	121.726,09
Térmica	307.626,69	12.920,32
Total		134.646,41

10. SITUACIÓN DE TRIGENERACIÓN

La situación de trigeneración, es una situación en la cual obtenemos la energía eléctrica y energía térmica, en forma de calor y frío, por medio de un combustible.

Debemos conectarnos a la red de distribución, de forma que, si al obtener la energía térmica necesaria para el centro deportivo excedemos de energía eléctrica, podemos venderla, y así reducir el periodo de amortización.

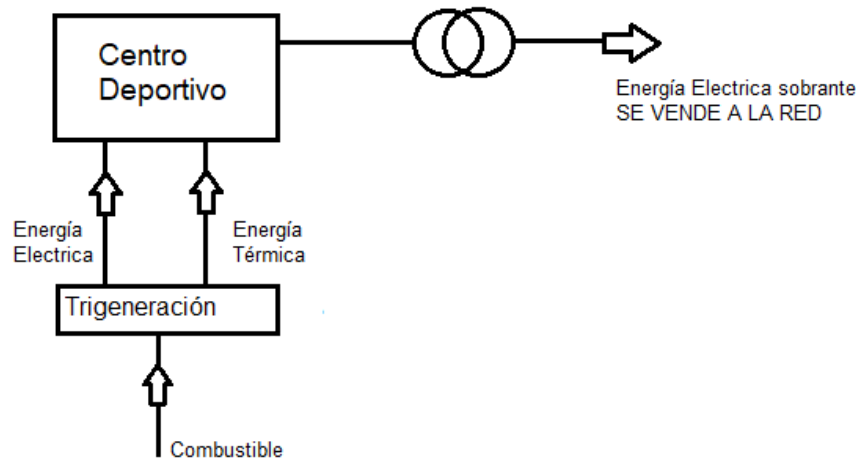


Figura 10.1: Funcionamiento con trigeneración del centro deportivo.

Tabla 10.1: Energía térmica mensual en la situación de trigeneración en cada periodo.

Mes	Situación futura (kWh)		
	8:00-13:00	13:00-18:00	18:00-23:00
Enero	23.232,21	22.330,73	22.540,99
Febrero	27.896,66	26.995,17	27.205,44
Marzo	32.561,10	31.659,62	34.883,40
Abril	27.608,34	37.686,66	48.876,73
Mayo	27.388,70	31.110,45	48.602,15
Junio	20.785,02	29.459,53	45.981,61
Julio	20.785,02	34.123,98	45.981,61
Agosto	25.449,46	38.788,42	45.981,61
Septiembre	22.435,94	29.459,53	45.300,31
Octubre	22.655,58	23.405,02	40.910,45
Noviembre	21.292,98	22.867,87	23.903,60
Diciembre	23.232,21	23.981,65	20.890,07

Tabla 10.2: Energía térmica anual en la situación de trigeneración.

Situación Futura	
Mes	kWh/mes
Enero	68.103,94
Febrero	82.097,27
Marzo	99.104,12
Abril	114.171,73
Mayo	107.101,30
Junio	96.226,16
Julio	100.890,60
Agosto	110.219,49
Septiembre	97.195,78
Octubre	86.971,04
Noviembre	68.064,44
Diciembre	68.103,94
TOTAL	1.098.249,81

El proceso de trigeneración del centro deportivo dependerá de un ciclo Brayton (turbina de gas) para obtener la energía eléctrica, aprovechando el calor residual que se produce para calentar el circuito de ACS y una máquina de absorción para la obtención del frío.

Para medir la eficiencia del sistema de trigeneración se utiliza la relación calor-electricidad (RCE), esta relación es el cociente entre el calor útil y la potencia eléctrica generada por el conjunto motor generador. Estimamos la relación calor-electricidad de este sistema en 3 unidades, la turbina de gas tiene un RCE entre 2 y 6 unidades [23], con este dato, sabiendo el calor útil necesario en el centro deportivo, podemos calcular la potencia eléctrica necesaria, como vemos en la tabla 10.3.

Tabla 10.3: Calculo de la energía eléctrica generada a partir de la energía térmica.

Mes	Horario	Producción Térmica (kWh)	Electricidad generada (kWh)	Demanda Eléctrica (kWh)	diferencia eléctrica (MWh)
Enero	dia	68.103,94	22.701,31	5.232,90	-17,47
	noche	0,00	0,00	250,00	0,25
Febrero	dia	82.097,27	27.365,76	5.131,20	-22,23
	noche	0,00	0,00	250,00	0,25
Marzo	dia	99.104,12	33.034,71	5.080,35	-27,95
	noche	0,00	0,00	250,00	0,25
Abril	dia	114.171,73	38.057,24	4.927,80	-33,13
	noche	0,00	0,00	250,00	0,25
Mayo	dia	18.476,88	6.158,96	4.927,80	-1,23
	noche	0,00	0,00	250,00	0,25
Junio	dia	96.226,16	32.075,39	4.927,80	-27,15
	noche	0,00	0,00	250,00	0,25
Julio	dia	100.890,60	33.630,20	4.927,80	-28,70
	noche	0,00	0,00	250,00	0,25
Agosto	dia	110.219,49	36.739,83	4.927,80	-31,81
	noche	0,00	0,00	250,00	0,25
Septiembre	dia	97.195,78	32.398,59	4.927,80	-27,47
	noche	0,00	0,00	250,00	0,25
Octubre	dia	86.971,04	28.990,35	5.131,20	-23,86
	noche	0,00	0,00	250,00	0,25
Noviembre	dia	68.064,44	22.688,15	5.232,90	-17,46
	noche	0,00	0,00	250,00	0,25
Diciembre	dia	68.103,94	22.701,31	5.232,90	-17,47
	noche	0,00	0,00	250,00	0,25

La producción térmica en la situación de trigeneración la calculamos sumando la energía consumida en la calefacción, en el ACS y en la refrigeración, en este proceso se genera energía eléctrica en la turbina de gas.

La energía eléctrica generada ha sido calculada mediante la relación calor electricidad (RCE)

$$RCE = \frac{PRODUCCIÓN TÉRMICA}{E.ELECTRICA GENERADA}$$

$$E.ELÉCTRICA GENERADA = \frac{PRODUCCIÓN TÉRMICA}{RCE}$$

La energía demandada la calculamos en los apartados anteriores teniendo en cuenta el número total de los puntos de luz y los elementos eléctricos conectados en el centro deportivo.

La diferencia entre la energía eléctrica generada y la energía demandada por el centro será la energía que debemos comprar o vender a la red, si superamos la energía demandada por el centro (negativo) podremos venderlo a la red de distribución, teniendo beneficios económicos para el centro deportivo. En caso contrario, si la energía generada es inferior, compraremos energía eléctrica a la red.

Tabla 10.4: Consumos y costes mensuales y anuales en la situación de trigeneración.

Mes	Horario	diferencia eléctrica (MWh)	Coste Eléctrico (Euros)	Combustible (kWh)	Coste Combustible (Euros)
Enero	día	-17,47	-873,42	99.885,77	4.195,20
	noche	0,25	35,75	0,00	0,00
Febrero	día	-22,23	-1.111,73	120.409,32	5.057,19
	noche	0,25	35,75	0,00	0,00
Marzo	día	-27,95	-1.397,72	145.352,71	6.104,81
	noche	0,25	35,75	0,00	0,00
Abril	día	-33,13	-1.656,47	167.451,88	7.032,98
	noche	0,25	35,75	0,00	0,00
Mayo	día	-1,23	-61,56	27.099,42	1.138,18
	noche	0,25	35,75	0,00	0,00
Junio	día	-27,15	-1.357,38	141.131,70	5.927,53
	noche	0,25	35,75	0,00	0,00
Julio	día	-28,70	-1.435,12	147.972,89	6.214,86
	noche	0,25	35,75	0,00	0,00
Agosto	día	-31,81	-1.590,60	161.655,25	6.789,52
	noche	0,25	35,75	0,00	0,00
Septiembre	día	-27,47	-1.373,54	142.553,81	5.987,26
	noche	0,25	35,75	0,00	0,00
Octubre	día	-23,86	-1.192,96	127.557,53	5.357,42
	noche	0,25	35,75	0,00	0,00
Noviembre	día	-17,46	-872,76	99.827,85	4.192,77
	noche	0,25	35,75	0,00	0,00
Diciembre	día	-17,47	-873,42	99.885,77	4.195,20
	noche	0,25	35,75	0,00	0,00
TOTAL		-272,93	-13.367,68	1.480.783,91	62.192,92

Mediante estos cálculos, podemos estimar el coste de la energía eléctrica que debemos comprar a la red y el coste del combustible necesario en dicha situación teniendo en cuenta las pérdidas.

Los precios utilizados para el cálculo de la compra de energía son los mismos del apartado 9, la energía eléctrica a 0,1430 €/kWh y el coste de energía térmica es de 0,042 €/kWh, mientras que la venta de energía eléctrica según Red Eléctrica Española (REE) es de 50 €/MWh.

11. ESTUDIO DE VIABILIDAD

El análisis económico determina la viabilidad del estudio. En este estudio se desea implantar un equipo de trigeneración para un centro deportivo a partir de una situación convencional, la empresa no va a poner en riesgo su capital si no tiene la certeza de que la instalación puede producir los ingresos necesarios para amortizar la inversión.

Con el equipo de trigeneración se pretende ahorrar económicamente todos los meses, de este modo, se obtiene un beneficio económico, respecto a la situación inicial.

Realizamos una estimación del presupuesto según el precio de mercado de diferentes fabricantes, para la implantación del sistema de trigeneración, en función de la potencia de la turbina, calculada mediante la energía térmica de calefacción y refrigeración en el apartado 8, con una potencia de 100kW.

Tabla 11.1: Estimación del presupuesto de trigeneración según precio de mercado.

Elementos	Precio (€)
Turbina de gas	60.350
Maquina de absorción	50.550
materiales requeridos	10.000
mano de obra	20.000
TOTAL	140.900

Antes de realizar estos cálculos es necesario conocer el gasto de energía eléctrica y energía térmica del centro deportivo en un año, en la situación convencional, es decir, antes de la instalación del sistema de trigeneración y el consumo en la situación futura, ya calculado en el apartado 10 "Situación de trigeneración".

Tabla 11.2: Gastos totales en la situación convencional y de trigeneración.

Situación Convencional	Coste electricidad (Euros)	121.726,09
	Coste gas natural (Euros)	12.920,32
	Mantenimiento (Euros)	500,00
	Seguro (Euros)	250,00
	Coste Total (Euros)	135.396,41
Situación Trigeneración	Coste electricidad (Euros)	-13.367,68
	Coste gas natural (Euros)	62.192,92
	Mantenimiento (Euros)	1.500,00
	Seguro (Euros)	500,00
	Coste Total (Euros)	50.825,25

Lo primero que realizamos es un estudio simplificado para comprobar si la instalación del sistema de trigeneración sale rentable en un periodo de tiempo razonable.

Haremos el análisis de amortización teniendo en cuenta la vida útil del sistema de trigeneración, la cual la estimamos una vida útil de unas 100.000 horas, es decir, unos 35 años aproximadamente de vida útil.

El coste del mantenimiento será de 1500 euros y el seguro de 500 euros el primer año, con una subida anual del IPC del 2%. [24]

El coste del precio eléctrico y térmico aumenta anualmente, suponiendo un aumento del 1% cada año.

Tabla 11.3: Amortización del sistema de trigeneración comparándolo con la convencional.

	Año	0	1	2	3
Situación Convencional	Inversión inicial (Euros)	140.900,00			
	Coste eléctrico (Euros)		121.726,09	122.943,35	124.172,78
	Coste térmico (Euros)		12.920,32	13.049,52	13.180,02
	Mantenimiento (Euros)		500,00	510,00	520,20
	Seguro (Euros)		250,00	255,00	260,10
	Coste Total (Euros)		135.396,41	136.757,87	138.133,10
Situación Trigeneración	Coste eléctrico (Euros)		-13.367,68	-13.501,35	-13.636,37
	Coste térmico (Euros)		62.192,92	62.814,85	63.443,00
	Mantenimiento (Euros)		1.500,00	1.530,00	1.560,60
	Seguro (Euros)		500,00	510,00	520,20
	Coste Total (Euros)		50.825,25	51.353,50	51.887,43
	ahorro anual (Euros)		84.571,16	85.404,37	86.245,67
	Σ Ahorro (Euros)		84.571,16	169.975,53	256.221,20

El estudio de viabilidad tiene un periodo de amortización del sistema de trigeneración en el centro deportivo aproximadamente de 2 años.

Uno de los parámetros que tenemos que tener en cuenta es el valor actual neto (VAN), considerando los flujos de caja anuales generados por la energía en el sistema de trigeneración comparándolo con el sistema convencional.

El valor actual neto es el indicador financiero que nos ayuda a determinar la viabilidad del proyecto, actualizando el valor del capital del futuro en el momento de la inversión.

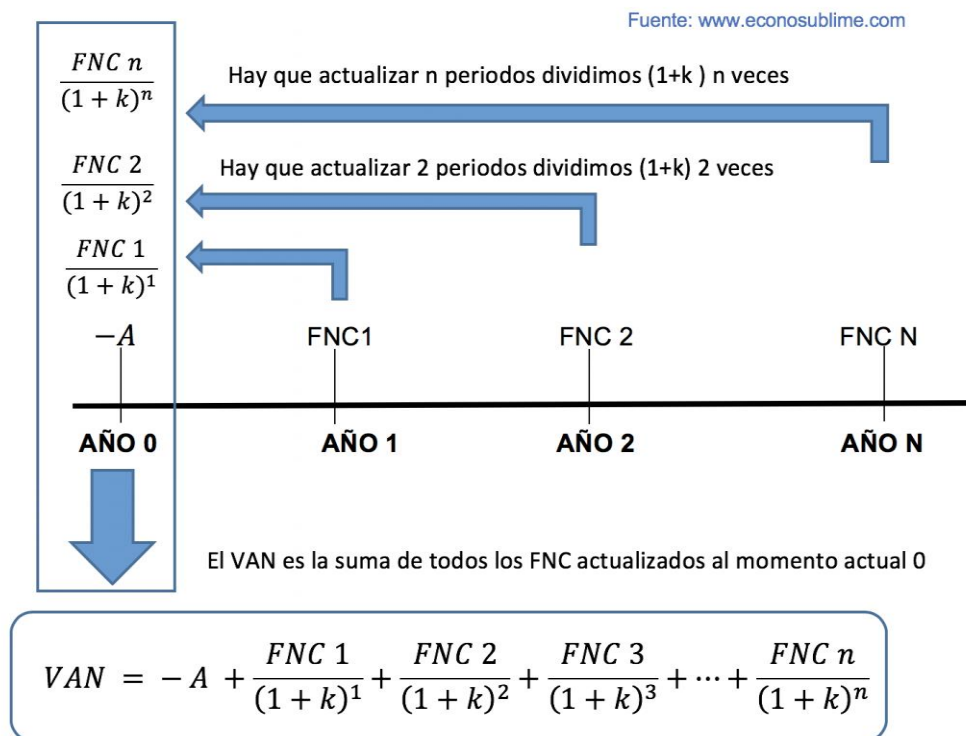


Figura 11.1: Actualización del valor futuro al presente. (Fuente: econosublime.com)

Estimamos una tasa de interés del 3% para actualizar el cálculo de los valores futuros.

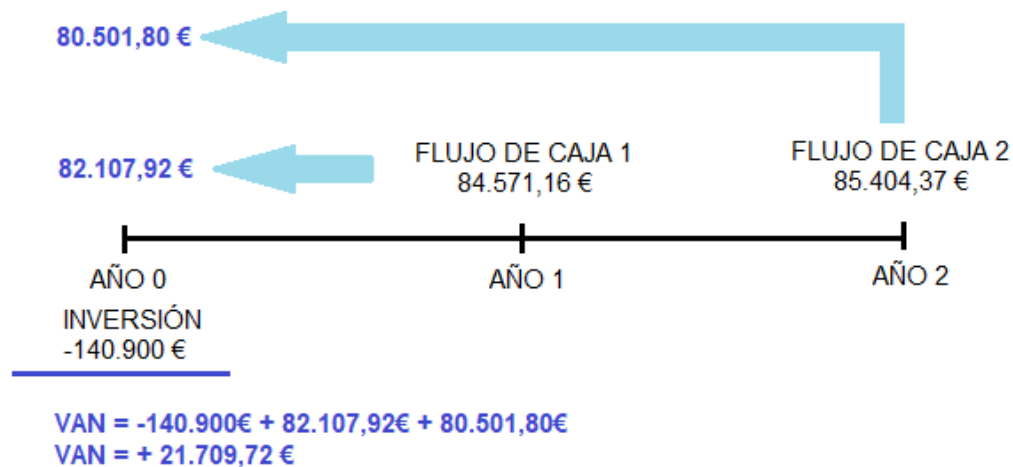


Figura 11.2: Cálculo del Valor Actual Neto

$$VAN = -140900 + \frac{84571,16}{(1 + 0,03)^2} + \frac{85404,37}{(1 + 0,03)^2}$$

$$VAN = +21709,72$$

VAN > 0 (POSITIVO) Genera beneficios

VAN= 0 No tiene ni pérdidas ni beneficios

VAN < 0 (NEGATIVO) Genera pérdidas

También debemos calcular la Tasa Interna de Retorno, y saber cuál es el interés que tenemos que tener para que el valor actual sea cero, si el valor de la Tasa Interna de Retorno es positiva, el proyecto será aceptado.

$$0 = -140900 + \frac{84571,16}{(1 + TIR)} + \frac{85404,37}{(1 + TIR)^2}$$

$$0 = -140900(1 + TIR)^2 + 84571,16(1 + TIR) + 85404,37$$

Sustituimos (1+TIR)=X

$$0 = -140900X^2 + 84571,16X + 85404,37$$

$$(1+TIR)= 1,1344$$

$$TIR=0,1344; TIR=13,44\%$$

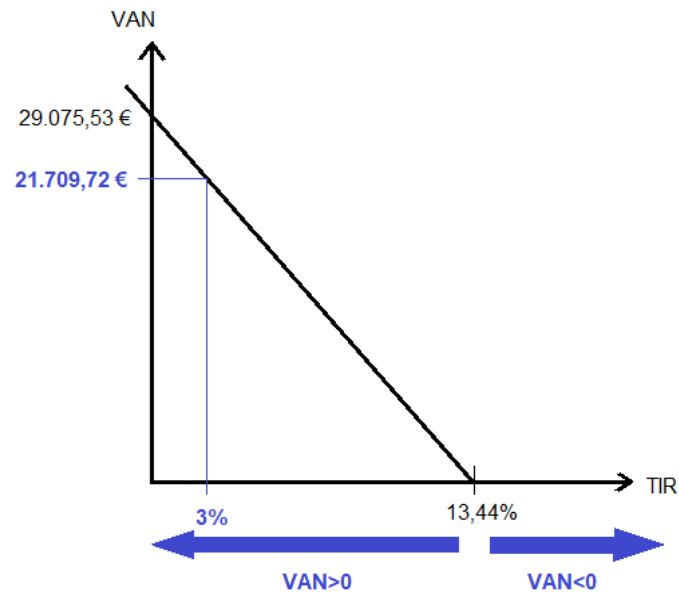


Figura 11.3: Gráfica VAN-TIR

Según se puede comprobar en la gráfica anterior, cuando el interés es igual o inferior a 13,44% el proyecto sale rentable, debido a que el valor actual es positivo, es decir, genera beneficios.

12. CONCLUSIÓN

A lo largo del presente trabajo se ha comparado un sistema convencional y un sistema de trigeneración para la obtención de energía eléctrica y energía térmica en un centro deportivo.

Una vez realizado este estudio para la implantación de un sistema de trigeneración a partir de uno convencional y el análisis económico, lo comparamos con la situación convencional eléctrica y térmica que había inicialmente.

Después de haber calculado la demanda energética necesaria para el centro deportivo y comparando las dos situaciones posibles, vemos que con la situación de trigeneración podemos obtener un beneficio mensual vendiendo energía eléctrica a la red, debido a que la energía eléctrica generada es superior a la necesaria.

Con este estudio tenemos la información necesaria para determinar que después del análisis económico realizado y ver que el tiempo de amortización es de 2 años, podemos decir que la mejor solución es implantar la situación de trigeneración, si el interés es inferior a 13,44% obtendríamos un beneficio económico mensual que no teníamos con la situación convencional.

13. BIBLIOGRAFIA

- 1. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. 2019. Programa de control de contaminación atmosférica. [Consulta 3-04-2020] Disponible en: <http://www.miteco.gob.es/>.
- 2. Sistema de calefacción, Tipos de calderas. 2020. [Consulta 05-06-2020] Disponible en: <http://preciogas.com/>.
- 3. Calderas de condensación. 2020. [Consulta 12-06-2020] Disponible en: <http://comercialatc-com/>.
- 4. Información sobre las turbinas de gas. 2013. [Consulta 26-08-2020] Disponible en: <http://plantasdecogeneracion.com/>.
- 5. Ciclo termodinámico de las turbinas de gas. 2009. [Consulta: 26-08-2020] Disponible en: <http://www.cicloscombinados.com/ciclobrayton.html>.
- 6. Fuste Paredes, S. 2015. Análisis termodinámico de los ciclos Rankine. GERMÁN DE MELO RODRÍGUEZ (Dir.) Trabajo final del grado Universidad politécnica de Cataluña. Disponible en: upcommons.upc.edu [Consulta: 28-08-2020]
- 7. Centrales de ciclos combinados, 2019 [Consulta 28-08-2020] Disponible en: <http://cicloscombinados.com/>.
- 8. El ciclo Otto: motores de dos y cuatro tiempos. 2020. [Consulta: 05-09-2020] Disponible en: <https://www.motor.es/que-es/ciclo-otto>.
- 9. La relación de compresión del ciclo Otto. 2020. [Consulta: 05-09-2020] Disponible en: <https://www.motor.es/que-es/relacion-de-compresion>
- 10. Ciclo de Carnot inverso. 2016. [Consulta: 29-08-2020] Disponible en: https://www.academia.edu/14491525/Ciclo_De_Carnot_Inverso
- 11. Gases refrigerantes, refrigeración, sistema de refrigeración. 2019. [Consulta 20-05-2020] Disponible en: <http://0grados.com/>.
- 12. Ciclo de refrigeración. 2015. [Consulta 10-09-2020] Disponible en: <http://rsilvera-utp-fim-refrigeracion.com/>.
- 13. Principio de trigeneración. 2013. [Consulta 10-09-20] Disponible en: <https://www.absorsistem.com/>.
- 14. Cano Pina, J. (2007) *Reglamento térmico en edificios* (6 ed.) Madrid: Ediciones Ceysa.
- 15. AEMET, Agencia estatal de meteorología. 2021. [Consulta 10-09-2020] Disponible en: http://www.aemet.es/es/lineas_de_interes/datos_y_estadistica.
- 16. Cargas térmicas. 2017. [Consulta 22-09-2020] Disponible: <https://nergiza.com/>.
- 17. Cargas térmicas. 2017. [Consulta 22-09-2020] Disponible en: <https://clickrenovables.com/>.
- 18. Radiación solar en España. 2020. [Consulta 22-09-2020] Disponible: <http://www.aemet.es/>.
- 19. Renedo Estébanez, C.J. (2002). *Introducción al aire acondicionado*. Santander: Universidad de Cantabria.
- 20. Tremolada Erauskin, G. 2012. Máquina frigorífica de absorción de simple efecto condensada por aire. MARCELO IZQUIERDO MILLAN (Dir.) Universidad Carlos III de Madrid. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/29405196.pdf> [Consulta: 10-02-2021].

- 21. Temperatura del agua de red en capitales de provincia de España (°C). 2020. [Consulta 20-03-2020] Disponible en: suelosolar.com.
- 22. Comisión nacional de los mercados y la competencia, comparador de ofertas. 2021. [Consulta 03-04-2021] Disponible en: comparador.cnmc.gob.es.
- 23. Cano Yuste, T. 2015. Diseño de climatización, instalación solar térmica y control para piscina climatizada en un centro deportivo JESUS GOMEZ HERNANDEZ (Dir.) Proyecto fin de carrera Ingeniería Industrial. Universidad Carlos III de Madrid. Disponible en: [FC_Tania_Cano_%20Yuste%20\(5\).pdf](#).
- 24. Instituto nacional de estadística, cálculo de variación de ICP. 2021. [Consulta: 22-03-2021] Disponible en: <https://www.ine.es/varipc/>.

